



**Universidade de
Aveiro
2009**

Departamento de Engenharia Civil

**Nilsa Conceição
Gonçalves Martins**

**Análise de Soluções de Reforço Usadas na
Reabilitação da Ilha do Faial**



**Nilsa Conceição
Gonçalves Martins**

**Análise de Soluções de Reforço Usadas na
Reabilitação da Ilha do Faial**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil realizada sob a orientação científica do Doutor Aníbal Costa, Professor catedrático do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro e do Doutor Humberto Varum, Professor auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

Dedico este trabalho às pessoas que me fizeram acreditar que era possível chegar até aqui. Em particular aos meus Pais pelo apoio incondicional e ao Adélio pelo amor e motivação.

o júri

presidente

Prof. Doutor Paulo Barreto Cachim

Professor associado do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor João Paulo Sousa Costa de Miranda Guedes

Professor auxiliar da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Prof. Doutor Aníbal Guimarães da Costa

Professor catedrático do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Humberto Salazar Amorim Varum

Professor auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Gostaria de deixar o meu profundo agradecimento a todas as pessoas que directa ou indirectamente contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho:

- Ao Professor Doutor Aníbal Costa pela orientação e sugestões prestadas para a realização do presente trabalho e pelo interesse sempre demonstrado.
- Ao Professor Doutor Humberto Varum pelo apoio prestado e pelas sábias palavras de incentivo.
- Ao Mestre Hugo Rodrigues pelo incansável apoio e conhecimentos transmitidos. Pela sua paciência, disponibilidade, prontidão e sensatez reveladas ao longo dos últimos meses.
- A todos os Professores do Departamento de Engenharia Civil que durante estes 5 anos contribuíram com os seus conhecimentos, críticas e sugestões relevantes para que esta dissertação se tornar-se uma realidade.
- Ao amigo David Carlos pelas palavras de incentivo, apoio e disponibilidade nos momentos mais difíceis.
- Aos amigos Vítor Santos, Elizabeth Lopes, Miguel Costa, António Figueiredo e Luís Rodrigues pela companhia e disponibilidade demonstradas durante longas horas.
- À Mestre Julieta Oliveira pelo apoio nas traduções e pela amizade destes últimos anos.
- Aos meus Pais pelo incansável apoio, paciência, compreensão e palavras de incentivo durante estes 5 anos.
- Ao Adélio pela presença nos momentos mais difíceis, pela disponibilidade, pela partilha dos seus conhecimentos na área, pela motivação e pelo amor.
- À Cristina pela paciência, compreensão, companheirismo e pela sua grande amizade.
- Finalmente, os meus agradecimentos vão para todos aqueles que não referi o nome mas que, de uma forma ou de outra contribuíram para que esta tese se tenha tornado uma realidade.

palavras-chave

Construções, Alvenaria de Pedra, Açores, Sismo, Reforço sísmico

resumo

A actividade sísmica é um fenómeno natural que durante séculos tem destruído várias cidades e aldeias em diversas partes do mundo. Dos vários edifícios danificados devido a este fenómeno, os de alvenaria de pedra são os que apresentam mais problemas de reabilitação, carecendo de uma intervenção urgente.

O arquipélago dos Açores é uma zona de intensa actividade sísmica, devido ao seu enquadramento geotécnico e devido à sua actividade vulcânica. A sua população enfrenta periodicamente momentos de pânico e destruição, que em conjunto com a construção tradicional aí existente, leva a que seja exigida uma manutenção adequada do seu parque habitacional, através da aplicação de técnicas de reforço adequadas, aquando a reabilitação dos edifícios danificados.

O principal objectivo deste trabalho enquadra-se no contexto apresentado, consistindo na análise das várias técnicas de reforço apresentadas por diferentes gabinetes contratados pelo Centro de Promoção e Reconstrução (CPR), para a reabilitação da ilha do Faial, atingida pelo sismo de 9 de Julho de 1998.

Deste modo, foram estudados vários projectos de reabilitação, analisando-se as várias soluções propostas por cada um, com a finalidade de compreender quais as soluções mais usadas pelos gabinetes para o reforço estrutural de edifícios de alvenaria de pedra quando sujeitos à acção do sismo.

De forma a complementar este estudo, foi também efectuada uma análise do comportamento dinâmico de dois edifícios antes e depois do respectivo reforço, sendo cada um destes, representante do meio urbano e rural da região. Esta análise numérica foi realizada usando a ferramenta informática SAP2000, baseada no método dos elementos finitos. Assim, procurou-se compreender o efeito do reforço nestas construções e a influência para o comportamento estrutural que a altura de cada edifício propicia.

Deste modo, o estudo efectuado permite seleccionar as técnicas mais adequadas para o reforço de alvenaria de pedra com base na sua eficiência e custo, permitindo a sua aplicação em edifícios semelhantes em outras zonas sísmicas.

keywords

Buildings, Masonry, Azores, Earthquake, Seismic Strengthening

abstract

The seismic activity is a natural phenomenon which destroyed many cities and villages all over the world and during decades. From the various damaged buildings due to this phenomenon, the masonry buildings are the ones which present more rehabilitation problems, urging for an intervention.

The Azores archipelago is a severe area of seismic activity, due to its geotechnical framing and volcanic activity. Its population face from time to time moments of panic and destruction, which with their traditional construction leads to a demanding on adequate maintenance of its housing park, through the application of strengthening techniques, when the damaged buildings are rehabilitated. The main objective of this work is framed in the present context, consisting on the analysis of several strengthening techniques presented by different offices hired by the Center for Development and Reconstruction ("Centro de Promoção e Reconstrução" - CPR), for the rehabilitation of the Faial Island due to the earthquake on the 9th of July, 1998.

In this way, various rehabilitation projects were studied, analyzed several solutions proposed by each one, with the purpose of understanding the solutions mostly used by the offices for the structural strengthening of masonry buildings when submitted to an earthquake.

In order to complete this study, it was also made a dynamic behavior analysis of two buildings before and after of its strengthening, in which each one of them represent the urban and rural areas of the region. This numeric analysis was accomplished by using the SAP2000 software, for structural analysis based on the method of the finite elements. Thus, it was sought to understand the effect of the strengthening in these constructions and the influence for the structural behavior of the height of each building.

Therefore, this study allows the selection of the most appropriate techniques for the strengthening of the masonry based on its efficiency and cost, allowing its application in similar buildings in other seismic areas.

Índice Geral

Índice Geral	i
Índice de Figuras	v
Índice de Tabelas	ix
 Capítulo 1: Introdução	 1
1.1 Considerações Gerais	1
1.2 Enquadramento Histórico	2
1.3 Objectivos da dissertação	4
1.4 Organização da dissertação	5
Capítulo 2: Estado da arte.....	9
2.1 História e Geologia do arquipélago dos Açores e a ilha do Faial.....	9
2.2.1 - Breve história e localização dos Açores e da ilha do Faial	9
2.2.2 - Geomorfologia da ilha do Faial.....	10
2.3 Sismologia nos Açores	12
2.3.1 – Considerações Gerais	12
2.3.2 - Causas de um sismo	12
2.3.3 - Escalas que quantificam um sismo.....	14
2.3.4 - Principais sismos ocorridos no arquipélago dos Açores	16
2.3.5 - Efeitos dos sismos em construções de alvenarias de pedra.....	18
2.3.5.1 Comportamento de paredes de alvenaria.....	18
2.3.5.2 Comportamento das fundações.....	20
2.3.5.3 Comportamento de coberturas e pavimento	20
2.4 Danos observados na ilha do Faial devido ao sismo	21
2.4.1 - Considerações Gerais	21
2.4.2 - Danos observados em instalações escolares.....	22
2.4.3 - Danos observados nas Igrejas	23
2.4.4 - Danos observados no parque habitacional	24
2.5 Técnicas de reforço utilizadas na reabilitação de edifícios de alvenaria	26
Capítulo 3:Análise Comparativa das Soluções de Reforço	31

3.1	Considerações Gerais	31
3.2	Caracterização dos tipos de construções existentes no parque habitacional	32
3.3	Observações relativamente à amostra analisada	36
3.4	Danos mais observados devido ao sismo de 1998 na amostra em estudo e sua classificação	38
3.5	Análise das técnicas de reforço mais frequentes na reconstrução dos edifícios da amostra em estudo.....	42
3.5.1	- Soluções de reforço mais utilizadas na recuperação dos edifícios danificados	44
3.5.2	- Soluções utilizadas pelos gabinetes de projecto	55
3.5.2.1	Análise das soluções de reforço usadas pelos respectivos gabinetes	56
3.5.2.2	Breve análise de orçamentos	60
Capítulo 4:Análise sísmica de duas casas do parque habitacional		61
4.1	Considerações Gerais	61
4.2	Descrição dos edifícios.....	62
4.3	Acções consideradas no estudo	65
4.3.1	- Gerais	65
4.3.2	- Acções verticais	65
4.3.3	- Acção do sismo	65
4.4	Análise numérica modal do edifício nº 35	68
4.4.1	- Considerações para a análise	68
4.4.2	- Resultados obtidos	70
4.5	Reforço do edifício nº 35.....	71
4.5.1	- Considerações para a análise depois do reforço	73
4.5.2	- Resultados obtidos	74
4.5.3	- Influência da consolidação das paredes no comportamento do edifício quando sujeito a um sismo	76
4.6	Análise numérica modal do edifício nº 31	77
4.6.1	- Considerações para a análise	77
4.6.2	- Resultados obtidos	79
4.7	Reforço do edifício nº 31.....	80
4.7.1	- Considerações para a análise depois do reforço	82

4.7.2 - Resultados obtidos	83
4.8 Análise de tensões	85
4.9 Análise de deslocamentos devido ao sismo.....	88
4.9.1 -Edifício nº 35.....	89
4.9.2 - Edifício nº 31.....	94
4.10 Comparação dos resultados	97
Capítulo 5:Conclusões e Desenvolvimentos Futuros	99
5.1 Conclusões gerais	99
5.2 Desenvolvimentos Futuros	102
Referências Bibliográficas.....	105

Índice de Figuras

Figura 1. 1 Gaiola Pombalina, [4].	3
Figura 2. 1 Quadro estrutural dos Açores (simplificado) 1- Dorsal médio atlântica 2- Faixa de Compressão RT- Rift da Terceira, [6].	10
Figura 2. 2 Ilustração representativa da ilha do Faial e divisão da parte sub-aérea, [8].	11
Figura 2. 3 Colapso de Jardim de Infância da Escola de Salão. Estrutura de paredes de alvenaria de pedra solta, [21].	22
Figura 2. 4 Danos ocorridos na igreja da Ribeirinha: a) movimento das paredes para fora do plano; b) danos ocorridos em arcos, [23].	24
Figura 2. 5 Construções de Alvenaria de Pedra: a) com junta seca; b) pano de duas folhas, [25].	26
Figura 2. 6 Danos em estruturas de alvenaria de pedra: a) colapso de parte da parede; b) desaprumo da parede, [25].	26
Figura 2. 7 Reforço da parede de alvenaria com malhas de aço inox, [25].	30
Figura 2. 8 Reforço da parede de alvenaria: a) coroamento através de bandas; b) aplicação de tirantes, [30].	30
Figura 3. 1 Tipo de construção por freguesia da ilha do Faial, [3].	34
Figura 3. 2 Tipos de coberturas, a) Cobertura à Francesa, b) Cobertura em tesoura; b) Cobertura à Cavalo, [3].	35
Figura 3. 3 Ligação das vigas de pavimento às alvenarias de pedra, [3].	35
Figura 3. 4 Tipo de construção	37
Figura 3. 5 Geometria das construções	37
Figura 3. 6 Tipologia das construções	38
Figura 3. 7 Esquema de classificação de danos em construções, [33].	39
Figura 3. 8 Danos mais observados	40
Figura 3. 9 Pequenas reparações efectuadas em edifícios. a) Grau de Conservação de edifícios; b) Prioridade da reabilitação	42
Figura 3. 10 Tipos de intervenção	44

Figura 3. 11 Cinta de solidarização a nível da cobertura; a) cinta em corte; b) pormenor de execução da cinta nos cantos, [34], [37].	47
Figura 3. 12 Ligação da estrutura de madeira às cintas de solidarização, [37].	47
Figura 3. 13 Reboco armado numa face e pormenores de ligação do pavimento à alvenaria de pedra e da cinta de remate de reboco á alvenaria, [37].	48
Figura 3. 14 Reboco armado nas duas faces da parede, [37].	49
Figura 3. 15 Rede metálica aplicada no reboco armado, zona dos cunhais, [37].	49
Figura 3. 16 Ligação do tirante à parede de alvenaria de pedra, [37].	49
Figura 3. 17 Reforço de cunhais; a) reforço apenas na parte interna; b) reforço na parte interna e na parte externa, [37].	51
Figura 3. 18 Pregagem de pilares em paredes de alvenaria e execução de sapata, [37].	52
Figura 3. 19 Fundações; a) Pormenor de uma sapata; b) Reforço de uma fundação, [37].	52
Figura 3. 20 Pormenor de ligação do reboco à fundação, [37].	53
Figura 3. 21 Reforço da cobertura, [37].	54
Figura 3. 22 Ligação da cobertura à cinta de coroamento, [37].	54
Figura 3. 23 Reforço do apoio dos pavimentos nas paredes de alvenaria de pedra, [37]. ..	55
Figura 4. 1 Casa nº 35 Rua Serpa Pinto: a) Alçado principal; b) Prolongamento nas traseiras; c) Corte; d) Planta, [37].	63
Figura 4. 2 Casa nº31, Portela – Feiteira, a) Alçado principal; b) Corte; c) Planta, [37].	64
Figura 4. 3 Carta de isossistas da ilha do Faial [39].	66
Figura 4. 4 Acelerogramas das várias componentes do sismo de 1998: a) Componente XX; b) Componente YY; c) Componente ZZ, [5].	67
Figura 4. 5 Edifício nº 35, comportamento estrutural antes do reforço.	71
Figura 4. 6 Travamento das paredes livres, [37].	72
Figura 4. 7 Lajeta de micro-betão, [37].	73
Figura 4. 8 Edifício nº 35, comportamento estrutural depois do reforço.	75
Figura 4. 9 Edifício nº 31, comportamento estrutural antes do reforço, 1º Modo e 2º Modo	79
Figura 4. 10 Edifício nº 31, comportamento estrutural antes do reforço, 3º Modo e 4º Modo	80
Figura 4. 11 Ampliação do edifício nº 31 e execução de montantes, [37].	81

Figura 4. 12 Execução de cinta de coroamento e ligação da cobertura, [37].	82
Figura 4. 13 Reforço das asnas através de chapas metálicas, [37].	82
Figura 4. 14 Reforço com cintas e montantes	83
Figura 4. 15 Edifício nº 31, comportamento estrutural após o reforço, 1º Modo e 2º Modo.	84
Figura 4. 16 Edifício nº 31, comportamento estrutural após o reforço, 3º Modo e 4º Modo.	85
Figura 4. 17 Edifício nº 35 sem reforço, Tensões principais máximas: a) Tensão de tracção, b) Tensão de compressão.....	87
Figura 4. 18 Edifício nº 35 com reforço: Tensões principais máximas, a) Tensão de tracção, b) Tensão de compressão.....	87
Figura 4. 19 Edifício nº 31 sem reforço, Tensões principais máximas: a) Tensão de tracção, b) Tensão de compressão.....	88
Figura 4. 20 Edifício nº 31 com reforço, Tensões principais máximas: a) Tensão de tracção, b) Tensão de compressão.....	88
Figura 4. 21 Edifício nº 35, pontos seleccionados para estudo dos deslocamentos: a) 1º Piso; b) 2º Piso; c) 3º Piso.	90
Figura 4. 22 Deslocamento no tempo a nível do 1º Piso.	90
Figura 4. 23 Deslocamento no tempo a nível do 2º Piso.	91
Figura 4. 24 Deslocamento no tempo a nível do 3º Piso.	91
Figura 4. 25 Perfis de deslocamento lateral.....	92
Figura 4. 26 Envolvente de deformações relativas máximas.	93
Figura 4. 27 Edifício nº 31, pontos seleccionados para estudo dos deslocamentos.	94
Figura 4. 28 Edifício nº 31, deslocamentos no tempo.	95
Figura 4. 29 Edifício nº 31, deslocamento lateral.....	96
Figura 4. 30 Deformações relativas máximas.	96

Índice de Tabelas

Tabela 2. 1 Escala de Mercalli Modificada, [11], [13].....	15
Tabela 2. 2 Sismo ocorridos nos Açores, [14].....	17
Tabela 3. 1 Relação dos danos observados com o tipo de construção	41
Tabela 3. 2 Soluções de reforço utilizadas pelos gabinetes.....	56
Tabela 4. 1 Acções consideradas, [37], [41].....	65
Tabela 4. 2 Valores do coeficiente de sismicidade, [41].	67
Tabela 4. 3 Edifício nº 35- Propriedades dos materiais, [5].	68
Tabela 4. 4 Dimensões dos respectivos elementos, [37].	68
Tabela 4. 5 Propriedades dos materiais constituintes do reforço, [5], [43].	73
Tabela 4. 6 Frequências observadas no edifício com reboco armado.	76
Tabela 4. 7 Frequências antes do reforço.	76
Tabela 4. 8 Dimensão dos elementos constituintes da cobertura, [37].	78
Tabela 4. 9 Propriedades dos materiais, [5], [43].	78
Tabela 4. 10 Propriedades dos materiais, [5], [43].	83
Tabela 4. 11 Valores limites de drift, segundo a FEMA-356, [45].	94

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Gerais

Desde a antiguidade que a espécie humana é confrontada com a ameaça de sismos em determinadas zonas do planeta, apresentando diversas explicações para a sua existência. A título de exemplo, na Grécia Antiga atribuíam-se os sismos à fúria do Deus *Poseidon*. Outras civilizações, principalmente as mais fustigadas, socorriam-se de seres mitológicos, e personificações da Terra para dar resposta a este fenómeno, [1].

Ao longo dos tempos, o efeito deste desastre natural tem-se feito sentir na perda de bens materiais e humanos, observando-se um impacto socioeconómico, por vezes de grande escala, nas regiões atingidas.

Na era moderna foi possível ao Homem, perceber com relativa exactidão, os mecanismos que podem desencadear um sismo. Com isto, tem-se desenvolvido critérios para a localização das zonas mais vulneráveis aos sismos. Embora ainda não seja possível saber com fiabilidade quando e onde ocorrerão, estes critérios tem permitido ter uma ideia da respectiva zona. Porém, o facto de não existir uma certeza na previsão de um sismo, não é razão para que não se deva estar prevenido para a sua ocorrência, e sobretudo para os seus efeitos, qualquer que seja a data do seu acontecimento. Deste modo, deverá haver uma preocupação das pessoas com estes fenómenos, precavendo-se dos efeitos deles, melhorando o tipo de construção, quer tratando-se de construções novas, realizando construções anti-sísmicas, ou através do reforço das já existentes.

O arquipélago dos Açores é uma das zonas que tem sido frequentemente marcada por momentos de destruição ao longo de vários anos, devido à elevada actividade sísmica que apresenta. Esta, resultado do seu enquadramento geotécnico, dado que este se localiza na junção tripla das placas litosféricas; Euroasiática, Norte Americana e Africana, mas também devido à sua actividade vulcânica, uma vez que é acompanhada de sismos, [2].

A constante actividade sísmica tem provocado vários problemas na manutenção do património habitacional dos Açores, pois, este é essencialmente constituído por estruturas vulneráveis aos sismos. Estas estruturas são na maioria construções tradicionais, que

apresentam paredes resistentes em alvenaria de pedra, realizadas com materiais ligantes muito fracos e fachadas exibindo várias aberturas.

Desta forma, ao longo de vários anos, tem-se vindo a estudar mais profundamente a actividade sísmica neste arquipélago e a desenvolver técnicas de reforço, com vista a melhorar o desempenho dos edifícios aí existentes, para que na ocorrência de um novo sismo, os prejuízos materiais e número de vítimas humanas sejam reduzidos.

O sismo que ocorreu a 9 de Julho de 1998 no Grupo Central dos Açores foi um dos sismos considerados mais catastróficos na história recente dos Açores. Embora tenha provocado um reduzido número de vítimas humanas (8), deu origem a um grande número de edifícios danificados nas ilhas do Faial e Pico, representando um grande prejuízo para a economia açoriana, [3]. Deste modo, no presente trabalho serão estudados, a origem e causas do respectivo sismo, o seu efeito nas construções e as técnicas de reforço mais apropriadas para a reabilitação do parque habitacional.

1.2 Enquadramento Histórico

Desde os tempos mais primitivos que a população considera os sismos como sendo catástrofes naturais, em relação ao qual nada se pode fazer. Este pensamento é errado, pois as catástrofes sísmicas são compostas por duas componentes: a primeira que está associada à ocorrência dos sismos em determinados locais e hora e a outra que esta ligada ao efeito dos sismos nas construções. Enquanto na primeira o Homem pouco pode fazer na segunda tem muitas responsabilidades, já que, neste caso, é possível intervir no sentido de proporcionar às construções uma resistência adequada. A falta de resistência destas construções à acção do sismo é a principal responsável pelas grandes destruições presenciadas ao longo dos tempos, [4].

Assim, a percepção da possibilidade de reduzir as consequências dos sismos pela acção do Homem, começou a surgir há séculos atrás em diversos locais do mundo, tratando-se no entanto, de casos particulares em maior ou menor número em cada região.

Porém, uma das primeiras vezes na História que técnicas e metodologias construtivas que pretendiam conferir resistência sísmica às construções foram aplicadas de forma sistemática e organizada à escala de uma cidade, foi na reconstrução de Lisboa após o sismo de 1755, [4].

Inicialmente as construções eram de pequeno porte, sendo o principal material utilizado a madeira, não existindo qualquer preocupação com o comportamento sísmico destas. Contudo, a utilização da madeira nas paredes das construções entrou em declínio, no final do século XVI, devido a ser um material combustível, passando a pedra e o tijolo a serem os materiais mais utilizados, visto que eram materiais incombustíveis. Todavia, as construções com este tipo de materiais eram estruturas de geometria irregular, sendo as paredes de alvenaria de pedra, em geral de má qualidade e pisos de madeira, [5].

Deste modo, a utilização da madeira foi retomada com a reconstrução da Baixa Pombalina, devido ao sismo de 1755, sendo utilizado então de forma sistemática e obrigatória o sistema de “gaiola pombalina”, que consistia basicamente numa estrutura triangulada tridimensional de madeira, Figura 1.1a). De seguida a estrutura de madeira era preenchida com elementos de alvenaria e rebocada, ficando assim, o esqueleto reticulado de elementos de madeira oculto no interior das paredes de alvenaria, Figura 1.1b), [5].



a)



b)

Figura 1. 1 Gaiola Pombalina, [4].

Contudo, após o desaparecimento da geração que viveu o sismo de 1755, desapareceu também a memória dos efeitos do sismo, começando uma adulteração das boas práticas construtivas utilizadas durante o século XIX, entrando-se assim, neste século num período de retrocesso da engenharia sísmica em Portugal, [5].

O nascimento da engenharia sísmica como ciência ocorre então, na primeira metade do século XX, baseando-se na preocupação de resistir à ameaça da Natureza que os sismos constituem, surgindo assim, os principais desenvolvimentos, associados aos regulamentos anti-sísmicos, [4].

No final do século XX, o desenvolvimento da análise sísmica permitiu conceber edifícios mais resistentes à acção dos sismos. Porém, existe ainda uma grande percentagem do parque habitacional de edifícios com tipos de construção antigos, nos quais existe uma grande insuficiência estrutural, [5].

Desta forma, a análise do comportamento estrutural de edifícios antigos, geralmente em alvenaria de pedra, tem assumido uma elevada importância na preservação do património arquitectónico e das zonas históricas das cidades. Assim, alterações da função dos edifícios, degradação das características resistentes dos materiais e acções para as quais estas estruturas não se encontram preparadas, fundamentam a necessidade de melhorar o conhecimento do funcionamento das estruturas e das técnicas de reforço apropriadas, que deverão ser aplicadas na reabilitação destas.

1.3 Objectivos da dissertação

Este trabalho tem como objectivo principal, o estudo e a comparação das diversas técnicas de reforço utilizadas na reabilitação dos edifícios afectados pelo sismo que ocorreu na ilha do Faial a 9 de Julho de 1998.

Consequentemente, o estudo baseia-se inicialmente em compreender a origem da actividade sísmica nos Açores e quais os seus efeitos no parque habitacional. Para tal, é necessário conhecer o tipo de construção mais comum no arquipélago, as técnicas usadas na sua realização e respectivos materiais, e por fim o tipo de comportamento que esta apresenta quando solicitada ao sismo.

O sismo estudado foi sentido nas ilhas do Grupo Central dos Açores, provocando importantes danos no parque habitacional, ficando danificados cerca de 5000 edifícios e 2100 totalmente destruídos de um total de 12624 edifícios, [3]. Perante este cenário, tornou-se necessário arranjar uma solução urgente, para tal, foram contratados pelo Centro de Promoção da Reconstrução (CPR), diversos gabinetes de arquitectura e engenharia para elaborarem projectos de reabilitação e construções novas.

Assim, no presente trabalho procura-se estudar as diversas técnicas de reforço aplicáveis a estruturas de alvenaria de pedra e posteriormente descrever as soluções estruturais adoptadas pelos diversos gabinetes na reabilitação das construções danificadas pelo sismo. Da mesma forma, efectua-se uma comparação entre as diversas soluções adoptadas, baseando-se na sua eficiência e nos custos envolvidos.

Sendo a região autónoma dos Açores, uma região com uma intensa actividade sísmica, é indispensável compreender os efeitos desta nas construções, estudando o seu comportamento dinâmico. Portanto, um dos objectivos deste trabalho passa por estudar o comportamento dinâmico de estruturas de alvenaria de pedra e a influência do reforço no respectivo comportamento. Para tal, foram modeladas no programa SAP2000 duas habitações, sendo uma urbana e outra rural, pretendendo-se compreender o seu desempenho antes e depois do reforço quando solicitadas por um sismo e o respectivo efeito da altura nesse comportamento.

Este trabalho permite então, perceber o comportamento da construção tradicional quando sujeita a um sismo e quais as técnicas mais adequadas para o seu reforço, possibilitando a escolha de um bom reforço num futuro próximo, nos Açores ou em qualquer outra zona com características semelhantes.

1.4 Organização da dissertação

Este trabalho visa um estudo das técnicas de reforço utilizadas na reabilitação do parque habitacional da ilha do Faial, Açores.

Deste modo, inicialmente foi efectuado um levantamento em livros, artigos e sites, da história dos Açores e de vários dados sobre o sismo de 9 de Julho de 1998, que ocorreu na ilha do Faial, assim, como de sismos anteriores, tentando-se perceber as principais causas dos sismos neste arquipélago e os efeitos que estes terão nas construções. Da mesma forma, fez-se uma pesquisa das principais construções aí existentes, das suas formas construtivas, e das possíveis técnicas de reforço, observando-se que a construção tradicional em alvenaria de pedra é predominante.

Após a introdução efectuada ao tema no Capítulo 1, segue-se no capítulo 2 a organização do levantamento referido, sendo apresentada um breve relato sobre o arquipélago dos Açores e ilha do Faial, no qual se procura fazer um enquadramento geotécnico deste arquipélago. São também abordadas as possíveis causas da actividade sísmica nos Açores, quais as respectivas escalas de quantificação, e os efeitos desses sismos no património edificado. Ainda no mesmo capítulo, é descrito o sismo de 9 de Julho de 1998, sendo referida a sua causa e apresentados os diversos danos provocados por este em escolas, igrejas e parque habitacional. No final, são apresentadas possíveis técnicas de reforço para construções em alvenaria de pedra.

Posteriormente, o capítulo 3 pretende estudar e comparar as várias técnicas de reforço utilizadas para a reabilitação da ilha do Faial. Assim, para a elaboração deste capítulo foram analisados 55 autos de vistoria, 55 levantamentos arquitectónicos e 55 projectos de execução apresentados pelos diversos gabinetes, analisando-se os danos visíveis nas diversas construções em estudo, o tipo de construção envolvida e as técnicas de reforço utilizadas pelo gabinete responsável.

Como tal, no referido capítulo, é feita inicialmente uma caracterização dos diversos tipos de construções constituintes do parque habitacional e da amostra em estudo. Sendo de seguida efectuada uma comparação entre esses tipos de construções e os danos correspondentes a cada uma. Seguidamente, são descritas as várias técnicas de reforço propostas pelos gabinetes, sendo feita uma análise da sua eficiência e custo.

Para uma melhor compreensão do comportamento dinâmico das estruturas de alvenaria de pedra, no capítulo 4, foram seleccionadas duas habitações, uma rural e outra urbana, sendo realizada a sua modelação no programa SAP2000, aplicando-lhes um sismo com a mesma intensidade do de 9 de Julho de 1998. Assim, neste capítulo é estudado o seu comportamento antes e depois do reforço, fazendo-se uma análise modal, uma análise dos deslocamentos e uma análise de tensões, com o fim de compreender os efeitos do reforço no comportamento de um edifício quando solicitado por um sismo.

O edifício urbano é constituído por três pisos, e apresenta um prolongamento nas traseiras encostado a um dos edifícios vizinhos. As paredes resistentes da construção são em alvenaria de pedra irregular, formando parede de dupla face, em que o preenchimento dos vazios interiores é realizado com materiais de pequena granulometria aglutinados com argamassa de cal, sendo o reboco destas paredes realizado em argamassa de cimento.

A cobertura e os pavimentos são constituídos por barrotes que apoiam nas paredes exteriores, dando no caso dos pavimentos apoio ao soalho e no caso da cobertura apoio às tábuas de guarda-pó.

No que respeita ao edifício rural, trata-se de uma casa térrea de geometria simples, apresentando um acrescento, ao canto da fachada principal. As paredes exteriores são igualmente em alvenaria de pedra, excepto as do acrescento que são em alvenaria de bloco de cimento, apresentando apenas aberturas na fachada, sendo todas as outras paredes cegas.

A cobertura é em madeira, sendo constituída por barrotes, onde assenta o forro e as telhas.

O capítulo 5 é relativo às conclusões do presente trabalho, à sua aplicabilidade no futuro em estruturas com mesma tipologia e a possíveis desenvolvimentos que se poderão realizar.

*A terra treme: é o vulcão oculto da ilha, a
boda de rir tremendo, o registo nervoso nos
ramos altos das árvores livres...
Tremar sem medo é uma linguagem da ilha,
a febre profunda de chegar às raízes das
pessoas...*

Carlos Faria.

CAPÍTULO 2: ESTADO DA ARTE

2.1 História e Geologia do arquipélago dos Açores e a ilha do Faial

2.2.1- Breve história e localização dos Açores e da ilha do Faial

O arquipélago dos Açores, mais designado por Região Autónoma dos Açores, é um arquipélago transcontinental e um território autónomo da República Portuguesa, que se situa no Atlântico nordeste, [1].

Este, com quase 600 anos de presença humana, tem um lugar muito importante na história Portuguesa e na história do Atlântico.

Assim, segundo a carta de Gabriel Valseca, o arquipélago dos Açores terá sido descoberto em 1427. Porém, só por volta de 1432 é que os portugueses começaram a povoar as ilhas, não sendo os únicos, pois, chegaram também por esta altura flamengos, ingleses, outros europeus e norte-africanos, [2].

A partir daqui decorreu a descoberta das várias ilhas, tendo-se o primeiro núcleo de portugueses estabelecido no Faial em data anterior a 1468. Deste modo, após perceberem a amenidade e fertilidade desta terra, devido à propagação do espaço entre outros factores, a comunidade aí estabelecida inicialmente rapidamente progrediu, [2].

Respectivamente à localização, o arquipélago dos Açores situa-se na junção das três placas litosféricas, a Americana, Euroasiática e Africana (Figura 2.1), sendo esta junção em forma de T, com dois ramos de direcção N-S, constituídos pela Dorsal Média Atlântico, e um terceiro ramo, com direcção aproximada WNW-ESSE, conhecido por Rife da Terceira, [6].

Este arquipélago é constituído por 9 ilhas de natureza vulcânica, estando estas divididas em três grupos, Ocidental, Central e Oriental. Do Ocidental fazem parte Corvo e Flores, do grupo Central fazem parte Faial, Graciosa, Pico, São Jorge e Terceira e do grupo Oriental fazem parte Santa Maria e São Miguel, [7], [8].

A ilha do Faial situa-se no extremo ocidental do Grupo Central do arquipélago dos Açores, sendo esta separada por um braço de mar de 8 km (canal Faial-Pico) da ilha do Pico, [8].

O seu nome actual surgiu da abundância de árvores de pequeno porte chamadas de faiadas-ilhas aquando o seu povoamento, [I].

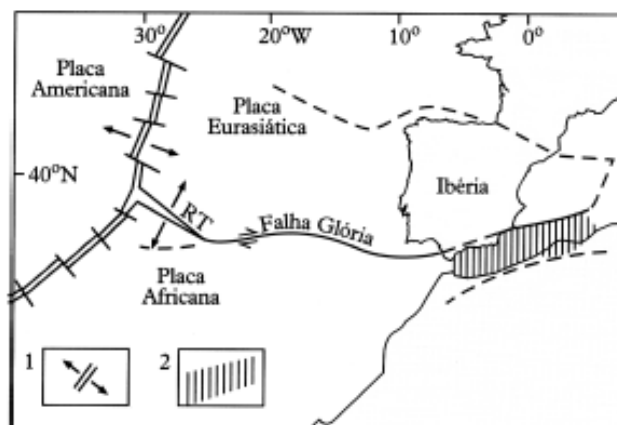


Figura 2. 1 Quadro estrutural dos Açores (simplificado) 1- Dorsal médio atlântico 2- Faixa de Compressão RT- Rift da Terceira, [6].

2.2.2- Geomorfologia da ilha do Faial

A ilha do Faial apresenta uma forma aproximadamente pentagonal, sendo alongada na direcção WNW-ESSE com um comprimento máximo de 21km e largura de 14km. Esta é constituída por uma parte submersa e uma parte sub-aérea, podendo a última dividir-se em quatro regiões, Vulcão da Caldeira, Pedro Miguel Graben, região Horta-Flamengos-Feiteira e Península Capelo, (Figura 2.2), ([9] citado por [8]).

Constituída essencialmente por materiais vulcânicos, a ilha do Faial estrutura-se em torno de um vulcão central, em que no centro se situa uma profunda caldeira, apresentando relevos jovens, ainda pouco trabalhados pela erosão e pelo tectonismo. A presença desta grande formação central, denominada Maciço da Caldeira faz com que as elevações da ilha converjam para o centro (de um modo geral), terminando no Cabeço Gordo, uma elevação que se situa no bordo sul da Caldeira com 1043 metros de altitude acima do nível médio do mar e 15km de diâmetro, [8], [10].

Porém, as faldas do Maciço da caldeira são assimétricas, sendo esta assimetria resultado de formações em diferentes idades, devido à existência de vulcanismo secundário e à super imposição no relevo de estruturas tectónicas, resultantes de tensões associadas à existência da Fractura Faial Pico, [10].

A história geológica da ilha divide-se assim em três períodos, Período Pré-Caldeira, Formação da Caldeira e Período Pós-Caldeira.

Pertencem ao Período Pré Caldeira o complexo vulcânico da Ribeirinha, encontrando-se este datado 800 mil anos antes do presente, e o complexo vulcânico dos Cedros, com cerca de 580 mil anos de idade, [II].

A Formação da Caldeira ocorreu há cerca de 10 mil anos. Nesta altura verificou-se uma mudança do estilo eruptivo do vulcão central, entrando este numa fase exclusivamente explosiva, levando a grandes depósitos de materiais piroclásticos e pedra-pomes, que cobriram quase toda a ilha. Consequentemente, durante esta fase ocorreu o colapso da parte mais alta do vulcão, havendo um afundamento do topo da câmara magmática, originando assim a formação da actual Caldeira. Porém, o colapso parece ter ocorrido em situações distintas, o primeiro terá ocorrido no topo da montanha, desenvolvendo-se para o seu interior, o segundo foi originado por uma erupção violenta, com libertação de uma nuvem ardente. O abatimento da caldeira terá ocorrido ao mesmo tempo, recobrando assim, mais de 40% da ilha com materiais piroclásticos, [8], [10], [II].

Ao Período Pós-Caldeira, pertence o Complexo Vulcânico do Capelo datado em 4 a 5 mil anos, [II].

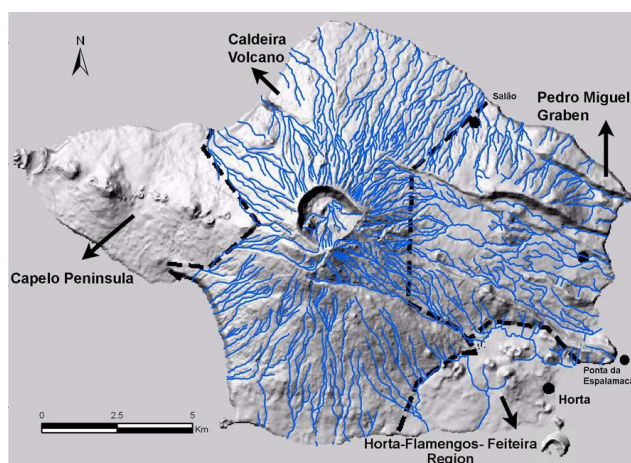


Figura 2. 2 Ilustração representativa da ilha do Faial e divisão da parte sub-aérea, [8]

2.3 Sismologia nos Açores

2.3.1– Considerações Gerais

Os sismos sempre interessaram à humanidade, uma vez que estes são fenómenos naturais catastróficos que têm afectado a mesma. Assim, houve várias tentativas de explicação dos fenómenos sísmicos, porém, o estudo científico dos sismos é recente.

Até ao séc. XVIII, as pessoas acreditavam que os sismos eram castigos sobre a humanidade, sendo as descrições destes dominadas pelo pânico tornando-se difícil apurar a veracidade dos factos, [11]. Actualmente, já se compreende que os sismos surgem como resultado natural da adaptação das forças do interior da terra à evolução das camadas superficiais da mesma, e já se consegue prever os locais prováveis da sua ocorrência, bem como a avaliação das intensidades máximas prováveis num determinado período de tempo, [11].

O arquipélago dos Açores é uma região que apresenta uma sismicidade importante no contexto nacional, associada à tectónica activa e à sua actividade vulcânica, [12]. Assim, para uma melhor compreensão desta, neste capítulo pretende-se entender o que provoca um sismo e como, as escalas que os quantificam e os seus efeitos sobre as construções.

2.3.2- Causas de um sismo

Sismos são movimentos vibratórios, apresentando por vezes uma certa violência, que surgem como consequência da dissipação de energia que existe no interior da terra. Esta energia libertada provoca movimentos de segmentos da crosta terrestre, levando deste modo à ocorrência do sismo. Deste modo, a ocorrência de um sismo está associada à súbita libertação de grandes quantidades de energia, sendo antecedida duma fase de acumulação desta energia na crosta terrestre, [11]. Esta acumulação deve-se à restrição que é imposta à movimentação dos vários segmentos da crosta. Porém, quando esta energia acumulada excede a capacidade resistente do segmento da crosta, ocorre a rotura material. Esta rotura liberta então em alguns segundos ou minutos as tensões acumuladas durante décadas, séculos ou milénios por lentos processos de deformação da camada exterior, [1].

Contudo, os sismos podem ocorrer devido a vários factores, tendo assim, designações consoante o respectivo factor que o originou. Os que ocorrem como consequência do factor anterior são designados de sismos tectónicos, pois estes resultam da rotura das falhas geológicas. Existem também os sismos vulcânicos, que resultam da intrusão de magma em fissuras da crosta, e os sismos artificiais que podem ser provocados por explosões subterrâneas, [11].

No caso dos sismos tectónicos, é conveniente compreender um pouco a tectónica de placas, para melhor se compreender como estes surgem.

O interior da terra pode ser dividido em duas camadas, a litosfera e a astenosfera. A litosfera é uma camada rígida e fria, sendo mais espessa nas regiões continentais e mais delgada nos oceanos, a astenosfera situa-se numa região mais interior, mais quente e de menor rigidez. Assim, segundo a tectónica de placas, a litosfera é constituída por várias placas aproximadamente indeformáveis, que se deslocam sobre a astenosfera, havendo formação de nova litosfera nas cristas centrais oceânicas, [1].

Nas fronteiras que separam placas tectónicas, o atrito opõe-se ao movimento relativo dos bordos, provocando deste modo que o deslizamento ocorra por impulsos, quando as tensões ultrapassam a resistência. Este fenómeno é o principal responsável pela actividade sísmica no planeta, [11].

Contudo, a ocorrência de sismos muito energéticos está mais propícia a zonas de subducção, sendo estas fronteiras tectónicas que apresentam movimentos de convergência, ou seja, uma das placas de litosfera oceânica afunda-se sob a outra de natureza continental. Porém, nas zonas de movimento relativo divergente, a actividade sísmica surge associada à importante actividade vulcânica, em que esta preenche com nova litosfera o espaço aberto entre placas, [1]. Pode-se inserir neste contexto a actividade sísmica dos Açores, pois este para além da actividade sísmica associada a fenómenos vulcânicos, apresenta também uma elevada sismicidade devido à tectónica activa da região, uma vez que como já foi referido, este arquipélago se localiza na junção de três placas litosféricas. Nesta última, podem ser inseridos os sismos de maior magnitude ocorridos na região. No entanto, tanto num caso como noutro os sismos são pouco profundos (a litosfera sismogénica não costuma ultrapassar os 10 km de espessura), o que pode aumentar muito a perigosidade sísmica, sobretudo quando a distância epicentral aos lugares habitados não é muito grande, [6], [7].

Nas regiões em que há convergência de placas, os dois tipos de litosfera são geralmente semelhantes, logo é comum não ocorrer subducção, pois nestes casos as tensões produzidas nas fronteiras podem propagar-se milhares de quilómetros para o interior das placas, produzindo a reactivação de antigas fracturas geológicas. Este tipo de actividade sísmica é designado de sismicidade intraplacada e envolve menos energia do que a que se dá nas fronteiras entre placas, designada por sismicidade interplacada. Contudo, a intraplacada pode ser muito importante, quando ocorre em zonas com alta densidade populacional, [11].

2.3.3- Escalas que quantificam um sismo

A questão da caracterização da grandeza de um sismo é vital para as Ciências Sismológicas. Assim, para a quantificação de um sismo existem duas grandezas, a magnitude e a intensidade. A magnitude está relacionada com a energia libertada por um sismo e a intensidade com os estragos causados por este, havendo deste modo para cada sismo uma magnitude e várias intensidades, [III].

Para a quantificação da intensidade do sismo, a escala original foi a de Rossi-Forrel, apresentando dez graus de intensidade. Posteriormente, a adaptação dessa escala por Mercalli ficou conhecida por Escala de Mercalli, e ainda modificações introduzidas por Wood e Newman em 1931 e Richeter em 1951 originaram a conhecida Escala de Mercalli Modificada, apresentando esta, doze graus de intensidade, [13]. A descrição abreviada é apresentada na Tabela 2.1.

Para a avaliação da magnitude do sismo é usual a utilização da Escala de Richter, sendo esta estabelecida pelo sismógrafo Charles Francis Richter em 1935.

Esta escala está compreendida em nove graus e é uma forma precisa de medir a magnitude de um sismo. Esta é calculada a partir da amplitude das ondas sísmicas observadas a uma distância conhecida do epicentro, ou seja, esta escala indica o máximo de energia libertada por um sismo, [1].

Contudo, a Escala de Richter tende a cair em desuso em aplicações científicas devido a não ser fiável para sismos de elevada magnitude, pois, neste caso apresenta valores significativamente inferiores à escala de magnitude de momento. A escala de magnitude de momento é uma escala que quantifica a dimensão de um sismo através do seu momento sísmico escalar, [1].

Concluindo, as escalas de intensidade são qualitativamente diferentes das escalas de magnitude, pois, a magnitude de um sismo é característica desse acontecimento, enquanto a intensidade que ele causa varia de ponto para ponto em função da respectiva distância ao epicentro.

Tabela 2. 1 Escala de Mercalli Modificada, [11], [13].

I	O sismo passa despercebido à maioria das pessoas, (imperceptível).
II	O sismo é sentido por pessoas em repouso, especialmente nos pisos superiores de edifícios altos, (muito fraco).
III	As oscilações são claramente perceptíveis no interior das habitações, mas podem não ser reconhecidas como sendo devidas ao sismo, (fraco).
IV	O sismo é claramente perceptível como tal no interior das habitações, movendo loiças, vidros e portas. No exterior, passa despercebido à maioria das pessoas, (medíocre).
V	O sismo é claramente sentido no exterior e no interior das habitações. As pessoas acordam, caem pequenos objectos soltos e as portas abrem e fecham, (forte).
VI	O sismo é imediatamente identificado e muitas pessoas correm para a rua. Os móveis deslocam-se e caem muitos objectos. Há quedas de estuques e fendilhação em alvenarias de má qualidade, (bastante forte).
VII	É difícil permanecer em pé. Há danos em alvenarias de má qualidade. Nas alvenarias bem executadas os danos são ligeiros. Caem chaminés e soltam-se telhas e verificam-se pequenos desprendimentos das terras, (muito forte).
VIII	É afectada a condução de automóveis. Há colapsos parciais em edifícios de má qualidade, e nas alvenarias correntes ou mesmo de boa qualidade a fendilhação é mais ou menos importante. As estruturas projectadas para resistirem aos sismos apresentam danos ligeiros. Verificam-se fendas no chão e em encostas, (ruinoso).
IX	O pânico é generalizado. Produzem-se danos consideráveis na maioria dos edifícios correntes, mesmo em edifícios de construção particularmente cuidada verificam-se alguns danos. Aparecem fendas significativas no solo, projecções de lamas e crateras de areia, (desastroso).
X	O sismo destrói a maior parte dos edifícios de alvenaria, uma grande parte de edifícios com estrutura resistente e alguns edifícios ligeiros de madeira. Outros tipos de estruturas (pontes, barragens, diques e cais) são afectados. Verificam-se grandes desprendimentos de terras, (destruidor).
XI	As vias-férreas ficam grandemente deformadas. As canalizações subterrâneas são totalmente destruídas, (catastrófico).
XII	A destruição das estruturas é praticamente total. A topografia da região é alterada e as linhas de horizonte são modificadas, (mudando a topografia).

2.3.4- Principais sismos ocorridos no arquipélago dos Açores

O arquipélago dos Açores apresenta uma sismicidade importante no contexto nacional. Desta forma, desde há vários séculos que as diferentes gerações que por aí têm passado, vêm a presenciar a ocorrência de sismos de intensidade significativa, e consequentemente, os seus efeitos nas vidas humanas e no património deste arquipélago.

Na Tabela 2.2 encontram-se dispostos os sismos mais destrutivos que afectaram o arquipélago dos Açores após o seu povoamento, com as respectivas intensidades, epicentro e vítimas mortais. Estes sismos apresentam uma intensidade acima de VII na Escala de Mercalli Modificada, mostrando alguns deles elevados número de vítimas mortais, [12], [14].

O sismo de 22 de Outubro de 1522 foi o mais catastrófico, afectando a Ilha de S. Miguel, na qual apresentou um grande número de mortes. Para além deste, como mais importante na história dos Açores podem-se salientar os sismos de 1614, 1757, 1852, 1926, 1980 e o de 9 de Julho de 1998, pelos danos, vítimas causadas e pelas suas consequências na sociedade Açoriana, [12].

O conhecimento da ocorrência destes sismos, tal como, da sua intensidade e efeitos, possibilita uma caracterização da sismicidade do arquipélago dos Açores, [14].

Tabela 2. 2 Sismo ocorridos nos Açores, [14].

Data	Localidade/Ilha mais afectada	Epicentro Prof.	Máx. Int. Obs.	Vítimas Mortais	Observações
1522/10/22	V. Franca /S. Miguel	37,7°N/25,4°W 12 Km	X	4000 a 5000	02h T.L 20000 hab.
1547/05/17	Zona N/Terceira		VII/VIII	>3	11-12h T.L
1571/08/??	?/Terceira		VII ?		
1591/07/26	V. Franca /S. Miguel		VIII/IX	"muitas"	
1614/05/24	P. Vitória/ Terceira	a E de P. Vitória	IX	>200	15:15h T.L
1713/12/08	Ginetes/ S. Miguel		VIII		
1730/06/13	Luz/Graciosa	Caldeia	VIII/IX?		
1757/07/09	Galheta/ S. Jorge	38,6°N/28,0°W 10,7Km	XI	1046	23:45h T.L.; tsunami; M=7,4; E~5x10 ²⁴ ergs
1800/06/24	P. Vitória Terceira	a E da Terceira	VII/VIII	0	13:45h T.L.
1801/01/26	S. Sebastião/Terceiro	a E da Terceira	VIII	2	15:30h T.L.
1837/01/21	Guadalupe e S. Cruz Graciosa		IX ?	3	
1841/06/15	P. Vitória /Terceira	a E de P. Vitória	IX	0	
1852/04/16	Rib. Grande/ S. Miguel		VIII	9 a 12	22:05 T. L.
1881/02/09	Povoação /Miguel		VII?	1	
1912/01/26	A. Heroísmo/Terceira				
1912/11/06	P. Vitória / Terceira		VII/VIII		21:00h
1926/08/31	Horta /Faial	38,5°N/28,6°W 1,6-4,8 Km	X	9	10:42h TMG Mb=5,3-5,9
1932/08/05	Povoação/ S. Miguel	37,8°N/25,1°W	VII		21:24h TMG; I ₀ =IX
1935/04/27	Povoação/ S. Miguel	37,7°N/25,4°W	VII	1	
1937/11/21	S. Espírito/ S. Maria	36,8°N/26,1°W	VII		
1939/05/08	S. Espírito/ S. Maria Rib. Quente/ S. Miguel	37,0°N/24,5°W	VII		I ₀ =X, Mb=7,0- 7,1
1945/06/15	Capelo /Faial		VII		01:40h
1946/12/27	Serreta/ Terceira		VII/VIII		18:30h
1950/12/29	Agualva/ Terceira	38,7°N/27,2°W	VII		16:03h TMG
1952/06/26	Povoação e R. Quente S. Miguel	37,7°N/25,3°W	VII		13:06h TMG
1952/06/26	Rib. Quente/ S. Miguel	37,7°N/25,3°W	VIII		15:32h TMG
1958/05/13	Praia Norte e R. Funda Faial	38,6°N/28,8°W 1 Km	VIII/IX		
1964/02/21	Rosais/ S. Jorge	38,7°N/28,2°W 9 Km	VIII		17:14h TMG; Mb=5,5 I ₀ =VIII/IX
1967/08/10	M. Escuro/ S. Miguel	37,8°N/25,4°W	VII		05:26h TMG; M=4,6
1968/06/17	Várzea/ S. Miguel	37,7°N/25,9°W	VII		17:22h TMG; M=4,6
1973/11/23	Bandeiras/ Pico	38,5°N/28,4°W 16 Km	VII/VIII		13:36h TMG; Mb=5,0
1980/01/01	Doze Rib./Terceira	38,8°N/27,8°W 10 Km	VIII/IX	61	16:42h TMG; I ₀ =XI; M=7,2
1998/07/09	Ribeirinha/Faial	38,7°N/28,5°W 1,2 Km	VIII/IX	8	05:19h TMG Mb=5,8

2.3.5- Efeitos dos sismos em construções de alvenarias de pedra

Os movimentos sísmicos são acções desfavoráveis para as habitações, pois estes provocam vibração tanto na horizontal como na vertical. Contudo, as vibrações horizontais são as mais prejudiciais, uma vez que estas provocam o desenvolvimento de forças laterais, devido à resistência que a construção opõe, [11]. No caso dos Açores, a existência da componente vertical do sismo é muito prejudicial para o comportamento das construções, devido ao tipo de construção tradicional aí existente, sendo as paredes exteriores (fachada principal, tardoz e empenas), realizadas em alvenaria de pedra, e as fachadas principais e tardoz apresentando aberturas largas para janelas e portas, com vergas e ombreiras, sendo delimitadas por cunhais. A espessura destas alvenarias é normalmente constante, com cerca de 66 cm (“côvado”), sendo realizadas com parede de folha dupla, com materiais ligantes muito fracos e o interior da parede também realizada com o mesmo tipo de materiais, [3].

As vibrações induzidas pelos sismos conduzem a forças tanto maiores, quanto maior a vibração (aceleração) na base e quanto mais pesados os elementos constituintes do edifício. Porém, quanto mais rígida a estrutura, maiores as forças que se opõe à deformação, [11], [15].

Os danos provocados por um sismo na construção dependem da intensidade do mesmo mas também da resistência e qualidade da construção, deste modo, torna-se importante a compreensão do comportamento dos vários elementos da construção face ao sismo.

2.3.5.1 Comportamento de paredes de alvenaria

Alvenarias são de forma genérica, “construções feitas com materiais como a pedra trabalhada ou não, ou outros materiais sólidos ligados por diversos tipos de ligantes (cal, barro, ou outros)”, [15].

Contudo, há diversos tipos de alvenarias, e respectivamente ao comportamento sísmico estas podem ser essencialmente de dois tipos, alvenarias de pedra regular e alvenarias irregulares. Nas alvenarias de pedra regular, as pedras são cortadas em paralelepípedos e colocadas nas construções de forma a deixar juntas de espessura reduzida entre elas, enquanto nas irregulares, o material de enchimento (pedra), não é trabalhado

antes de ser colocado em obra, gerando deste modo um maior espaço a ser preenchido pelo ligante, [15], [16].

As alvenarias são materiais com pouca resistência à tracção e ductilidade reduzida, mas o seu comportamento sísmico pode ser bastante diferenciado, pois alvenarias de pedra regular apresentam desempenho sísmico superior, e alvenarias secas, sem ligante ou com ligantes muito fracos, com pedra irregular e de terra não compactadas são bastante piores. Pois, quanto mais arredondadas forem as pedras, mais facilmente se escapam, acontecendo o mesmo com a existência de argamassas fracas, [11], [15].

Deste modo, a utilização de uma argamassa resistente e durável, a substituição de blocos irregulares por blocos regulares, dando melhor interligação entre os elementos, melhora muito o comportamento da alvenaria quando sujeita a um sismo, [11].

Embora seja um factor importante, a solidarização dos blocos de uma parede de alvenaria, não garante por si só a resistência à acção sísmica. Assim, a forma como a parede se encontra construída é outro factor importante, [11].

Aquando a ocorrência de um sismo, geram-se forças transversais e longitudinais, sendo as transversais mais desfavoráveis, pois as paredes de alvenaria apresentam pouca resistência a este tipo de forças, sendo facilmente derrubadas por pequenas forças. Este derrubamento pode ser originado pela abertura de fendas junto à fundação ou pela rotura da própria fundação. As forças longitudinais, por sua vez, são suportadas em melhores condições, pois a parede consegue transferir as forças para a fundação, mesmo quando elevadas. Porém, a resistência não é infinita e a rotura poderá ocorrer de dois tipos, ou por deslizamento da parede em relação à fundação ou por fendilhação da própria parede, sendo esta fendilhação em geral inclinada, [11].

Deste modo, é importante para um melhor funcionamento das paredes assegurar que estas trabalhem em conjunto, garantindo nos cunhais as ligações entre elas, [11], [16].

A existência de aberturas nas paredes, também pode alterar substancialmente o seu comportamento e resistência. Pois, enquanto numa parede cega a força aplicada pode ser transferida ao terreno com uma simples trajectória, seguindo aproximadamente a diagonal, no caso de existirem aberturas a trajectória é interrompida originando alteração da mesma, fazendo-se então com subdivisão da força global, através dos nembos entre aberturas. Também o facto, de devido às aberturas o desenvolvimento da parede interessada ter sido

diminuído, as tensões desenvolvidas nos nembos, são para forças iguais, mais elevadas que no caso da parede cega, [11].

2.3.5.2 Comportamento das fundações

Muitas vezes a derrocada de edifícios verifica-se devido a deficiências da fundação, quer seja devido à má execução dos seus elementos, quer seja devido a características inapropriadas de resistência ou configuração do terreno, [11].

Devido a estes últimos, referem-se os deslizamentos globais de encostas, assentamentos ou liquefacção do solo. No caso da estrutura de fundação, o seu comportamento é determinante face à ocorrência de um sismo, uma vez que as forças geradas por este só podem ser transmitidas ao terreno se a resistência dos elementos de fundação estiver assegurada, [11].

Assim, tal como acontece nas paredes, a solidarização entre os vários elementos da fundação e os elementos acima do solo é fundamental, assegurando uma melhoria na resistência sísmica. Deste modo, não interessa que as paredes de alvenaria apresentem alta qualidade, se a resistência das fundações não estiver de acordo com os esforços que um sismo gera nas primeiras, [11].

2.3.5.3 Comportamento de coberturas e pavimento

Neste ponto abordar-se-á apenas os pavimentos e coberturas de madeira, dado que na maior parte das casas açorianas este é o tipo de pavimento e cobertura mais habitual. Assim, um pavimento constituído por uma estrutura de madeira revestida a soalho é considerada uma estrutura mais leve e menos rígida, sendo em termos sísmicos favorável o facto de ser leve, mas desfavorável o facto de ser pouco rígida, pois reduz a capacidade de contraventamento da construção. A forma como cada elemento do soalho está ligado à viga define a sua rigidez, [11].

Deste modo, verifica-se que os pavimentos de madeira convencionais, embora originando menores forças sísmicas, só limitadamente poderão desempenhar um papel de contraventamento das várias paredes de uma construção, [11].

As coberturas de madeira apresentam igualmente baixa rigidez, pois sob a acção de um sismo cada asna funcionará isoladamente, a menos da existência de disposições de contraventamento especiais. Também é normal verificar-se uma deficiente ligação das

coberturas às paredes de alvenaria, em que o vigamento ou asnas são apenas pousadas sob a alvenaria, funcionando a ligação apenas por atrito, sendo assim deste modo, acrescido o risco de queda para o interior das habitações. A estes aspectos, ainda pode ser acrescido o facto de as zonas de entrega da madeira poderem apodrecer rapidamente, diminuindo muito a sua resistência, [11].

Em conclusão, poder-se-á dizer que quanto ao comportamento sísmico é importante uma boa ligação dos elementos constituintes da cobertura com a estrutura de suporte, de modo a evitar o seu escorregamento ou queda para o interior.

2.4 Danos observados na ilha do Faial devido ao sismo

2.4.1- Considerações Gerais

“O sismo dos Açores de 1998 ocorreu na madrugada do dia 9 de Julho, pelas 5h19m, com epicentro localizado a cerca de 16 km NNE da cidade de Horta, na ilha do Faial, a Norte do canal que separa esta ilha da do Pico, com um foco situado a uma profundidade entre 5 e 10km e tendo atingido a magnitude m_d próxima de 6.0”, ([17] e [18] citados por [19]).

Este sismo foi sentido nas ilhas do Grupo Central dos Açores, tendo originado importantes danos no parque construído, redes de abastecimento e infra-estruturas das ilhas do Faial e Pico. Deste modo, as povoações mais afectadas pelo sismo situavam-se nas freguesias rurais a Nordeste da ilha do Faial, tendo aqui muitas casas de construção tradicional entrado em colapso ou ficado em situação de ruína eminente. Assim, apresentando o Faial cerca de 15000 habitantes, o número de vítimas causadas pelo sismo de 9 Julho foi 8 mortos, 110 feridos e 1600 famílias desalojadas, sendo 5000 edifícios danificados e 2100 destruídos, [3], [19].

A freguesia mais afectada pelo sismo foi a da Ribeirinha, no lugar de Espalhafatos, devido a esta ser uma zona fortemente condicionada pela presença de perigosidade hidrogeológica e por maior parte das construções não apresentarem adequada qualidade construtiva. Também as freguesias de Salão e Cedros foram fortemente atingidas a nível do edificado, isto devido à má qualidade dos materiais utilizados e a técnicas construtivas inadequadas [20].

2.4.2- Danos observados em instalações escolares

Para análise dos danos ocorridos devido ao sismo de 9 de Julho de 1998, foram inspeccionados 21 recintos escolares, distribuídos geograficamente na ilha do Faial. Os danos foram divididos pelas seguintes categorias: danos estruturais, danos não estruturais e outros danos, [21].

Da análise efectuada aos vários danos ressalta a observação de que a sua extensão e o tipo apresentavam uma forte dependência da solução estrutural adoptada, [21].

Assim, nas estruturas de paredes de alvenaria os danos foram maiores, manifestando-se uma fendilhação extensa nas paredes exteriores e interiores, sendo o comportamento pior quando estas eram constituídas por blocos irregulares de pedra solta com pouco ligante ou de pior qualidade, (Figura 2.3), [21].



Figura 2. 3 Colapso de Jardim de Infância da Escola de Salão. Estrutura de paredes de alvenaria de pedra solta, [21].

No caso de estruturas mais antigas de betão armado, apresentando as paredes de alvenaria uma função resistente mais acentuada, os danos observados têm semelhança com os danos de estrutura de paredes de alvenaria, sendo adicionados a estes a separação entre elementos de betão armado e as paredes existentes. O caso de edifícios mais recentes, com estrutura em betão armado, observou-se, em poucos casos, situações de fendilhação em elementos estruturais, nomeadamente pilares e indícios de martelamento entre edifícios contíguos, [21].

Contudo, para além dos danos nos edifícios, verificou-se fendilhação extensa ou mesmo ruína e derrubamento dos muros de contenção de terras contíguos às escolas. Isto pode dever-se ao facto de grande número das escolas serem implantadas em elevações artificiais, e alguns destes muros serem realizados com alvenaria de blocos de pedra irregular e relativamente soltas, [21].

2.4.3- Danos observados nas Igrejas

Com o intuito de verificar os danos ocorridos em igrejas, foram analisadas 30 igrejas, sendo a maioria em construção antiga de alvenaria e apenas 5 em betão armado, [22].

Deste modo, foi feita uma análise, dando especial atenção a potenciais mecanismos de colapso como: o movimento de paredes para fora do plano (Figura 2.4a)), abertura de fendas de grande dimensão, queda de elementos de fachada, rotura de colunas, movimento dos arcos longitudinais e movimento dos arcos transversais, [23], [24].

O padrão de danos mais observado corresponde ao mecanismo que envolve rotura das paredes por corte, que apesar de ser o mais comum, é aquele que apresenta danos menos importantes. Os mecanismos que apresentam danos mais importantes são os correspondentes ao derrube das paredes de extremidade ou à rotura das cúpulas na zona do altar, [23].

Comparando os vários danos observados, foi possível um perfilamento dos padrões de repetição da localização e do tipo de fendas, assim estes são descritos de seguida, [23]:

- ✓ Nas fachadas frontais das igrejas com torres foi observado maior concentração de fendas junto à união entre frontispícios e torres, enquanto em igrejas salão sem torres as fendas encontram-se mais dispersas;
- ✓ Nas igrejas de tripla nave observou-se desligamento entre estruturas longitudinais (tectos, paredes intermédias e laterais) e o frontispício, por vezes apresentando também queda de pedras dos muretes por cima das paredes arcadas;
- ✓ Verificou-se também desligamento entre estruturas longitudinais e o tardo do corpo principal, junto à inserção da capela-mor, por vezes com queda de pedras ou mesmo de panos das paredes laterais;
- ✓ Foram muito generalizados os danos nos frontões, incluindo a propagação de fendas horizontais pela base;

- ✓ Danos em arcos devido a movimentos na direcção transversal ao corpo principal, (Figura 2.4b));
- ✓ Degradação das coberturas;
- ✓ Por vezes observou-se também queda de pináculos.

Para além destes danos, foi possível observar danos referentes a cada igreja, dependendo estes da respectiva geometria e processo construtivo.



a)



b)

Figura 2. 4 Danos ocorridos na igreja da Ribeirinha: a) movimento das paredes para fora do plano; b) danos ocorridos em arcos, [23].

2.4.4- Danos observados no parque habitacional

O parque habitacional apresenta uma arquitectura tradicional, em que há uma simplicidade construtiva baseada na utilização da alvenaria de pedra e madeira. Contudo, o facto das ilhas dos Açores serem casualmente afectadas por crises sísmicas, resultando em reconstruções, reforços e alterações dos edifícios contribui para uma grande variedade de tipologias construtivas. Assim, uma análise do comportamento estrutural do parque habitacional irá permitir saber quais foram os sistemas construtivos que melhor se comportaram e qual o tipo de danos mais comuns, [3].

Estudos desenvolvidos pelo Departamento de Geociências da Universidade de Açores explicam que o grau de destruição do parque habitacional se deveu essencialmente a três situações: localização de casas em zonas de elevado risco, incumprimento das normas construção sismo-resistente, características geotécnicas de algumas formações geológicas e aterros, [20].

Assim, uma observação do parque habitacional após a ocorrência do sismo permitiu verificar, excluindo ruínas, os seguintes danos nas construções, [25], [26], [27]:

- ✓ Danos elevados em paredes de alvenaria constituídas por pedra solta e sem argamassa de ligação ou com argamassa muito fraca (Figura 2.5a)), sendo a resistência destas paredes apenas baseada no atrito entre as pedras, dando assim deste modo, origem a colapsos generalizados (Figura 2.6a)). Contudo, estes danos são mais elevados em zonas altas dos edifícios, devido à sua maior vulnerabilidade às forças sísmicas que actuam transversalmente aos panos de parede;
- ✓ Separação das folhas da parede, nas paredes de duas folhas (Figura 2.5b)), com destacamento e destruição sobretudo da folha exterior, devido à ausência de elementos transversais de interligação;
- ✓ Separação das paredes ortogonais nas zonas dos cunhais, com abertura de grandes fendas e movimentação relativa de pedras aparelhadas de cunhal ou desagregação completa das paredes com deslizamentos semelhantes aos de materiais granulares;
- ✓ Separação das paredes periféricas, essencialmente para o exterior, havendo deste modo uma separação entre estas e as paredes interiores. Esta é agravada em zonas elevadas dos edifícios e decorre devido à ausência de elementos de efectiva ligação entre as duas paredes;
- ✓ Separação entre paredes periféricas e estruturas de madeira da cobertura, havendo mesmo por vezes uma retirada do suporte dos elementos de cobertura. Esta separação decorre devido à separação das paredes exteriores das interiores e é muitas vezes agravada pelo impulso provocado pelas vigas inclinadas de cobertura;
- ✓ Danificação e queda de elementos de beiral das coberturas e outros elementos salientes colocados em pontos altos dos edifícios. Este comportamento é resultado das maiores acelerações nestas zonas devido ao efeito de amplificação dinâmica, e a fixação inadequada;
- ✓ Desaprumos de paredes, devido a estas serem de alvenaria de pedra irregular e a argamassa de má qualidade, gerando-se deste modo forças de inércia durante o sismo em cada bloco individual que excedem a resistência da argamassa, sendo assim, as paredes puxadas para fora do plano (Figura 2.6b)).



a)



b)

Figura 2. 5 Construções de Alvenaria de Pedra: a)com junta seca; b) pano de duas folhas, [25].



a)



b)

Figura 2. 6 Danos em estruturas de alvenaria de pedra: a) colapso de parte da parede; b)desaprumo da parede, [25].

2.5 Técnicas de reforço utilizadas na reabilitação de edifícios de alvenaria

Durante a ocorrência de um sismo, os danos e colapsos são produzidos de forma progressiva, ficando deste modo as construções mais desligadas e fissuradas. Assim, depois do sismo as construções podem permanecer afectadas por danos permanentes podendo estes incluir desconexões, fissuras, desaprumos, entre outros, que quando associados reduzem a resistência global e aceleram os processos de deterioração, podendo mesmo levar ao colapso da estrutura, [28].

Deste modo, após uma análise dos danos face ao sismo de 9 de Julho de 1998 e uma compreensão completa do comportamento estrutural, torna-se necessário reconstruir, e esta

reconstrução deverá oferecer uma protecção adequada quando sujeita a outro sismo ou mesmo a outro tipo de acção.

Serão então apresentadas várias técnicas de reforço, que podem ser utilizadas na reabilitação de alvenarias de pedra, podendo estas ser a nível global da estrutura ou a um nível mais local, dependendo do tipo de patologia e do tipo de alvenaria de pedra.

Assim, as técnicas podem-se dividir em dois grupos principais, quanto aos materiais, subdividindo-se em tradicionais ou modernas, e quanto aos efeitos de reforço, subdividindo-se em reforço passivo ou reforço activo, [29].

Englobando todo este tipo de técnicas são referidas de seguida várias possibilidades de reabilitação de alvenaria de pedra, podendo estas técnicas ser utilizadas individualmente ou em conjunto, [25], [29], [30], [31]:

✓ **Substituição de elementos degradados:**

Desmonte e reconstrução das zonas de alvenaria degradadas, podendo haver uma substituição de elementos em piores condições.

✓ **Refechamento de juntas:**

Consiste numa remoção parcial de detritos e da argamassa degradada, sendo esta substituída por outra com melhores características mecânicas e de maior durabilidade. No caso de alvenarias com juntas horizontais regulares, pode-se ainda instalar armaduras de reforço na argamassa, havendo assim um refechamento das juntas com armadura.

✓ **Eliminação de deformações:**

No caso de paredes com elevadas deformações deverá proceder-se ao desmonte destas e a uma nova reconstrução.

Para paredes não muito danificadas poder-se-á proceder à eliminação de desaprumos ou enfolamentos localizados, recolocando as pedras deslocadas na sua posição original. Esta correcção poderá efectuar-se recorrendo à aplicação de forças perpendiculares à parede por meio de cabos. Porém, este tipo de intervenção só é justificado se os enfolamentos ocorrem numa parte localizada da parede, da ordem dos 10% a 15%.

✓ **Injecção ou resinas fluidas para preenchimento de vazios interiores ou selagem de fissuras:**

Esta técnica consiste em injectar, através de furos, previamente realizados nas paredes de alvenaria, caldas ou resinas fluidas para preenchimento dos vazios interiores e

selagem de fissuras. No entanto, esta técnica apresenta um obstáculo, sendo este a definição da respectiva composição da calda, devido à dependência de muitos parâmetros do suporte, como composição química, porosidade e outros.

✓ **Execução de rebocos armados ou encamisamento de paredes de alvenaria de pedra:**

São técnicas que consistem na execução de camadas resistentes à superfície das paredes, com uma malha de material resistente à tracção (aço inox, chapa de metal, fibras de vidro, etc.), fixada à parede por pregagens (Figura 2.7), sendo sobre esta projectada argamassa tradicional de revestimento. Estas camadas podem ser aplicadas de apenas um ou dos dois lados da parede, com a armadura ligada ou não transversalmente.

Estas técnicas destinam-se a paredes fortemente degradadas e foi bastante utilizada nos Açores, na sequência do sismo de 1998.

✓ **Execução de pregagens transversais:**

Destina-se a ligar diferentes folhas de uma parede composta, para confinar a sua secção. Para tal efeito, são instalados tirantes com tratamento anti-corrosão em furos previamente abertos, sendo estes posteriormente enchidos com argamassa selante e ancorados nas faces opostas das paredes. Normalmente esta técnica é combinada com outras técnicas.

✓ **Reforço com materiais compósitos FRP:**

Esta técnica consiste na aplicação de materiais polímeros reforçados com fibras de carbono, de vidro e outras, colados ao suporte com resinas de elevado desempenho. Contudo, esta técnica quando aplicada a paredes de alvenaria de pedra é condicionada pela irregularidade superficial, uma vez que esta dificulta a aderência.

✓ **Aplicação de pré-esforço de elementos estruturais ou da estrutura como um todo:**

Este é aplicado com tensões relativamente baixas, e permite compensar em zonas críticas a deficiência de estruturas a esforços de tracção, melhorar integridade estrutural e controlar deformações e fendilhação.

✓ **Acopolamento de elementos metálicos ou de madeira adicionais:**

Estes são destinados a melhorar a resistência à compressão e ao corte, através de um maior confinamento dos elementos de alvenaria.

Este acopolamento, no caso dos elementos metálicos poderá ser feito por exemplo através de chapas.

✓ **Execução de novos elementos estruturais**

Esta é outra técnica possível, que consiste na execução de novos elementos estruturais, de modo que estes aliviem efeitos negativos sobre a alvenaria ou cantaria de pedra. Estes poderão ser metálicos, em madeira, em betão ou mesmos mistos.

✓ **Reforço de paredes no coroamento através de bandas:**

Esta é aplicada em construções de melhor qualidade, de apenas um piso e que tenham sofrido menor danificação. Consiste na colocação de uma banda junto ao topo das paredes no seu paramento exterior com duplicação da malha incorporada no reboco armado (Figura 2.8a)). Esta banda deve correr ao longo de toda a periferia do edifício sem interrupções e com pelo menos 50 cm de altura.

✓ **Utilização de tirantes para travamento de paredes:**

“ O tirante é uma componente de reforço estrutural de aço, normalmente aço inox, que trabalha à tracção, podendo ter funções passivas ou activas na estrutura” (Figura 2.8b)), [30].

Estes aplicam-se geralmente em paredes muito longas (mais de 15 m), e têm por objectivo a interligação das paredes exteriores opostas com um afastamento não superior a 5 m. Podem ser aplicados ao nível dos pavimentos ou da cobertura.

✓ **Montantes de Solidarização:**

Estes surgem para zonas de reconstrução integral de paredes. Os montantes de betão armado deverão ser colocados nos cantos dos edifícios sempre que se execute uma laje de betão armado e deverão ser efectuadas as ligações entre a estrutura nova e as paredes de alvenaria. Porém, deverão ser tomados em conta cuidados especiais em relação à interface que estabelece as ligações entre a cinta de apoio dos novos montantes e a parede de alvenaria existente.



a)



b)

Figura 2. 7 Reforço da parede de alvenaria com malhas de aço inox, [25].



a)



b)

Figura 2. 8 Reforço da parede de alvenaria: a) coroamento através de bandas; b) aplicação de tirantes, [30].

CAPÍTULO 3:ANÁLISE COMPARATIVA DAS SOLUÇÕES DE REFORÇO

3.1 Considerações Gerais

O sismo de 9 de Julho de 1998 com magnitude de 6 na Escala de Richter afectou fortemente as ilhas do Faial e Pico, com epicentro localizado a cerca de 15 Km a Nordeste da ilha do Faial. Este danificou cerca de 5000 edifícios dos quais 2100 ficaram destruídos, de um total de 12624 edifícios existentes nestas duas ilhas, [3].

A ilha do Faial apresenta uma arquitectura tradicional, sendo esta, uma simplicidade construtiva que consiste na utilização de alvenaria de pedra e madeira como materiais. Também a existência de certos elementos, como sejam, balcões, cisternas, lojas, fornos e a própria organização dos espaços, conferem à construção açoriana o direito de ser considerado património da humanidade. Deste modo, a sua preservação deverá ser uma obrigação de todos os que intervêm no processo de reconstrução, [3].

Porém, aquando a ocorrência de sismos alguns destes edifícios apresentam uma má resposta sísmica, que associada a uma falta de manutenção ou a danos sofridos em sismos anteriores leva a que as pessoas introduzam por vezes alterações profundas aos sistemas construtivos tradicionais. Assim, é importante que exista um conhecimento do tipo de construção tradicional e do tipo de alterações que foram introduzidas para uma melhor compreensão do comportamento futuro dessas mesmas construções. O facto de se conhecer o comportamento estrutural do parque habitacional, também permite perceber quais os sistemas construtivos que melhor se comportaram e se for possível avaliar os tipos de danos mais comuns em cada um desses sistemas, [3].

Face à necessidade de dar solução ao elevado número de edifícios danificados pelo sismo e a certeza de num futuro próximo ocorrer outro sismo, foram contratados, pelo Centro de Promoção e Reconstrução, diversos gabinetes de arquitectura e engenharia para elaborarem projectos de reabilitação e construções novas, [3]. Assim, neste capítulo será feita uma análise comparativa das várias soluções de reforço apresentadas pelos gabinetes,

sendo esta baseada na eficiência do reforço e nos respectivos custos. Para tal, foram analisados 55 autos de vistoria, 55 levantamentos arquitectónicos e 55 projectos de execução.

3.2 Caracterização dos tipos de construções existentes no parque habitacional

Como referido anteriormente foi necessário analisar vários documentos, porém, é conveniente mencionar o que são os autos de vistoria, para que haja uma melhor compreensão. Estes são “documentos elaborados pelo Governo Regional dos Açores através do Centro de Promoção e Reconstrução (CPR) de forma a dar resposta à crise sísmica de 1998, cujo pressuposto visava a identificação dos elementos estruturais dos edifícios e seus danos, acompanhados de registo fotográfico”, [3].

Deste modo, com base nos documentos mencionados foi feita uma caracterização do parque habitacional, sendo esta caracterização baseada essencialmente em várias temáticas como: o tipo construtivo, a existência de cave, a respectiva geometria do edifício, a existência de edifícios contíguos, o tipo da estrutura da cobertura, tipo de pavimento, tipo de parede interior e tipo de parede exterior, [3].

O facto da ilha do Faial ser frequentemente afectada por sismos, resultando destes construções, reforços e alterações dos edifícios, leva a que haja muitas vezes uma alteração da respectiva construção tradicional, surgindo assim, uma mistura de materiais e diferentes elementos construtivos. Desta forma, a consulta dos diversos elementos de estudo permitiu uma caracterização em vários sistemas construtivos como: construção corrente (CC), construção mista (CM), construção tradicional (CT) e construção tradicional alterada (CTA), [3].

Designa-se de construção tradicional, toda aquela em que as paredes exteriores são realizadas em alvenaria de pedra, as fachadas principais e de tardo apresentam aberturas largas para janelas e portas com vergas e ombreiras, sendo delimitadas por cunhais. A espessura das paredes normalmente é constante com cerca de 66cm (“côvado”). O pavimento destas construções é constituído por soalho e vigas de madeira e a estrutura da cobertura também é em madeira, apresentando no entanto, várias formas construtivas. As divisões interiores destes edifícios geralmente são em tabique de madeira ou frontais, [3].

Estes edifícios tradicionais em zonas rurais são normalmente constituídos por dois pisos ou por apenas um piso térreo. No caso da construção tradicional urbana, os edifícios têm geralmente dois a três pisos, apresentando estas construções uma organização mais complexa, mas porém, possuem um corpo secundário perpendicular ao tardo, onde se encontra a cozinha, [3].

Considera-se uma construção tradicional alterada (CTA), a construção em que exista apenas uma substituição do pavimento de soalho e vigas em madeira por uma laje maciça em betão armado apoiada nas paredes de alvenaria. No entanto, esta substituição é apenas utilizada em algumas zonas da habitação, normalmente na cozinha e na casa de banho, devido ao facto de estas serem zonas húmidas. O restante edifício não sofre alterações, ficando assim a sua constituição semelhante à de uma construção tradicional, [3].

No caso da construção corrente (CC), a estrutura resistente é realizada em betão armado com paredes de alvenaria de blocos de cimento, confinados ou não, sendo os pavimentos em betão armado. No entanto, a estrutura da cobertura neste tipo de construção pode ser em betão armado ou em madeira, [3].

Uma outra tipologia atribuída é a construção mista, que pode ser de três tipos, construção mista do tipo 1 (CM1), construção mista do tipo 2 (CM2) e construção mista do tipo 3 (CM3).

Atribui-se à construção mista do tipo 1 (CM1) os edifícios em que haja substituição do pavimento de soalho e vigas em madeira por uma laje maciça de betão armado apoiada na alvenaria de pedra pelo interior do edifício, podendo existir pilares a meio da laje. Neste tipo de construções as paredes divisórias são em blocos de cimento e/ou tabique de madeira, sendo a estrutura da cobertura em madeira, [3].

Na construção mista do tipo 2 (CM2), há uma intervenção relacionada com uma ampliação, apresentando esta ampliação uma estrutura resistente constituída por pilares, viga e laje de betão armado. Contudo, a cobertura, pavimentos e paredes são conservados, [3].

Relativamente à construção mista do tipo 3 (CM3), existe uma alteração integral do pavimento, paredes exteriores e paredes interiores. Desta forma, o pavimento trata-se de uma laje maciça de betão armado apoiado em pilares e vigas e com as paredes interiores e exteriores em blocos de cimento. Em comparação com a construção tradicional apenas são conservados os elementos estruturais da cobertura, [3].

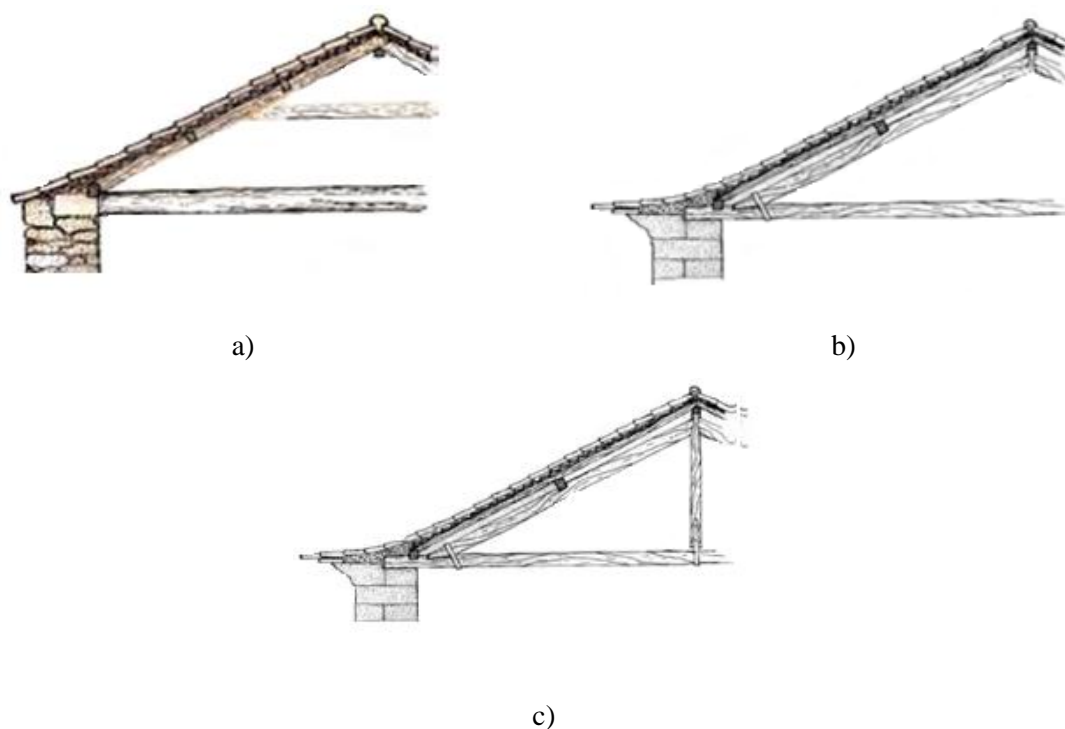


Figura 3. 2 Tipos de coberturas, a) Cobertura à Francesa, b) Cobertura em tesoura; b) Cobertura à Cavalo, [3].

Relativamente aos pavimentos, o tipo de pavimento mais frequentes são os constituídos por soalho e vigas de madeira, que têm as suas entregas nas paredes de alvenaria de pedra (Figura 3.3). Contudo, verificou-se em alguns edifícios a substituição integral dos elementos de madeira por vigas e laje de betão armado. Ainda, em alguns casos foi aplicada uma lajeta de betão armado nas zonas húmidas da casa que se apoia no vigamento de madeira aí existente, e em casos de ampliações dos edifícios verifica-se a execução da laje em betão armado, [3].

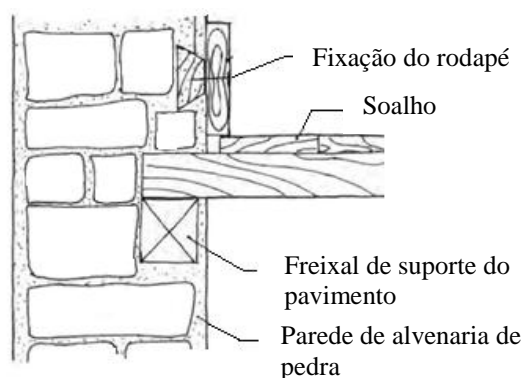


Figura 3. 3 Ligação das vigas de pavimento às alvenarias de pedra, [3].

As paredes divisórias interiores são consideradas elementos importantes, pois estas também apresentam uma função estrutural quando sujeitas ao sismo. Ora, apesar de serem elementos de pequena rigidez, elas acabam por contribuir para o contraventamento global, apresentando também alguma resistência à flexão às alvenarias de pedra no sentido exterior/interior, [3].

Estas paredes divisórias podem ser de alvenaria de pedra ou de bloco de cimento, conferindo assim, mais resistência ao edifício em causa. Contudo, também podem ser de tabique de madeira, sendo neste caso, constituída por duas faces de fasquiado de madeira em prumos afastados de 0,50 a 0,70 m. O fasquiado de madeira é rebocado com estuque, argamassa de cal, areia e barro, podendo por vezes verificar a adição de pelo de vaca e “cabelo humano” ([32] citado por [3]). Existem também os frontais, sendo estes, paredes divisórias mais comuns em edifícios mais modestos e geralmente só apresentam uma face, [3].

Porém, em edifícios mais recentes verifica-se que o tipo de divisórias mais comum é os blocos de cimento e alguns casos, paredes do tipo “latex”, [3].

Relativamente a paredes exteriores, já foram abordados aspectos sobre as mesmas no capítulo 2. Estas são elementos muito importantes devido às suas funções estruturais e em muitos casos tornam-se elementos portantes de pisos, suportando os vigamentos da construção, [3].

3.3 Observações relativamente à amostra analisada

Como referido anteriormente, para a execução deste capítulo foi analisada uma amostra de 55 habitações, verificando-se autos de vistoria, plantas de arquitectura e projectos de execução. Em seguida, procedeu-se à verificação dos aspectos enunciados no ponto anterior relativamente à ilha do Faial.

No que respeita ao tipo de construção, verificou-se que muitas habitações já tinham sofrido intervenções, desde execução de cintas, reparações de fissuras, alterações de pavimentos, construção de anexos, entres outras, devido a sismos anteriores ou mesmo a falta de manutenção. É de referir também que, o caso da existência de cintas na periferia da habitação não foi considerado na análise feita no ponto anterior, assim, todas as

construções que já possuísssem uma cinta de betão armado foram consideradas construções tradicionais alteradas (CTA).

Analisando o gráfico presente na Figura 3.4, verificou-se que na amostra analisada a maioria das construções eram construção mista tipo 2 (CM2). Por questões de melhoria de habitabilidade, muitos proprietários tinham feito ampliações nas habitações, sendo, estas para execução de cozinhas, casas de banho, quartos ou arrumos, uma vez que muitas casas não provinham das mesmas. A estrutura destas ampliações geralmente era em betão armado, constituindo assim, uma construção tradicional com uma ampliação em betão armado, sendo deste modo, considerada CM2.

Seguidamente à CM2, o tipo de construção mais observada foi a construção tradicional alterada (CTA). Muitas casas já possuíam cintas no coroamento das paredes, como resposta a sismos anteriores, e como referido anteriormente este tipo de construções foi incluído em construção tradicional alterada (CTA). Seguiu-se a esta, a construção tradicional (CT) e por fim a construção corrente (CC). Porém, na amostra analisada não se observou nenhum caso de construção mista tipo 1 (CM1) nem de construção mista tipo 3 (CM3), como se pode observar no gráfico da Figura 3.4.

Porém, na amostra em análise também foram verificados outros aspectos, como a geometria, tipologia e área. Assim, no que respeita à geometria, pelo gráfico da Figura 3.5, verificou-se que a maioria das casas apresentava uma planta rectangular (51,85%), seguindo-se a esta a geometria em “L”, e só depois, em valores muito baixos, a geometria em “U” e em “T”. Também, foi verificado que a grande maioria das habitações eram isoladas.

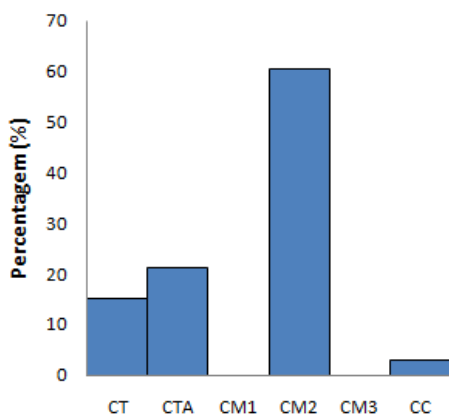


Figura 3. 4 Tipo de construção

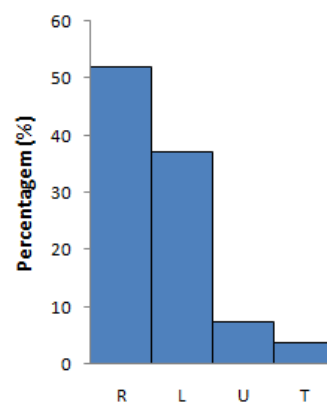


Figura 3. 5 Geometria das construções

Relativamente à tipologia do edifício, foram verificadas cinco, desde o T1 ao T5. Contudo, as que mais se destacaram foram o T2 e T3, sendo, porém, observado mais vezes o T2, como é possível analisar na Figura 3.6.

A nível de áreas, a área bruta total média era de 150,84 m².

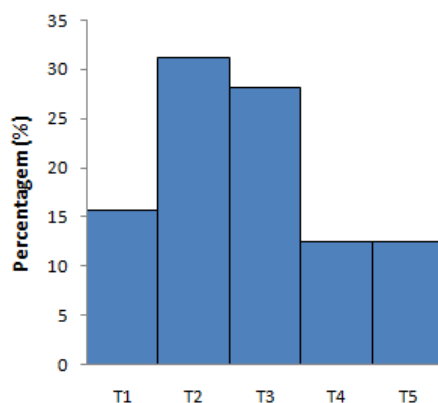


Figura 3. 6 Tipologia das construções

Respectivamente a pavimentos e coberturas, verificou-se que a maioria dos pavimentos era em madeira, sendo constituídos por vigas de madeira revestidas a soalho, tendo estas vigas as suas entregas nas paredes de alvenaria de pedra. Em alguns casos verificou-se também a existência de uma lajeta de betão armado nas zonas húmidas (cozinha e quarto de banho).

Em todos os casos analisados verificou-se que a cobertura era tradicional em madeira e as paredes interiores eram geralmente em tabique, sendo porém, algumas vezes em alvenaria de bloco.

3.4 Danos mais observados devido ao sismo de 1998 na amostra em estudo e sua classificação

O sismo de 9 de Julho de 1998 ocorrido no Grupo Central dos Açores afectou gravemente a ilha do Faial. Assim, o registo dos danos ocorridos nas habitações torna-se importante, uma vez que permitirá interpretar o comportamento estrutural das respectivas construções, compreender e identificar os mecanismos de colapso, e no futuro possibilitará uma comparação desses danos com os que são possíveis estimar através de uma simulação numérica da resposta estrutural das construções existentes face à acção de sismos, [33]. O

conhecimento destes danos também possibilitará determinar quais as técnicas de reforço mais apropriadas à reparação e reforço do mesmo.

A classificação dos danos é um aspecto fundamental, pelo já referido anteriormente. Deste modo, foi atribuída uma classificação aos mesmos, sendo divididos os danos interiores dos danos exteriores. Os danos exteriores, ou seja, danos relacionados com a envolvente externa do edifício, foram divididos em 5 categorias: fendilhação ligeira, fendilhação acentuada, fractura, colapso e ruína, [33].

A fendilhação ligeira designada por “D1” engloba a fendilhação generalizada e fendilhação de pequena expressão (fendas inferiores a 1 mm). A fendilhação acentuada (D2) corresponde a toda a fendilhação que envolva movimentos relativos entre as pedras e fendilhação de outra natureza, mas que porém, não apresente movimentos das pedras ou de outros elementos para fora do plano das paredes, pois quando tal acontece, este dano designa-se por fractura (D3). Como colapso (D4), entende-se a queda de elementos e quando esta apresenta grande expressão, no sentido de pouco se aproveitar da habitação é designada de ruína (D5), [33]. De acordo com local onde se verifica o dano, estas categorias ainda se podem subdividir em várias sub-categorias como: Fachada (F), Empena (E), Cobertura (C) e Canto (K), (Figura 3.7), [33].

D1 Fendilhação ligeira	D1E	Empena
	D1F	Fachada
	D1EF	Empena e Fachada
D2 Fendilhação acentuada	D2E	Empena
	D2F	Fachada
	D2EF	Empena e Fachada
D3 Fractura	D3E	Empena
	D3F	Fachada
	D3EF	Empena e Fachada
D4 Colapso	D4E	Empena
	D4F	Fachada
	D4EF	Empena e Fachada
D5 Ruína	D5E	Empena
	D5F	Fachada
	D5EF	Empena e Fachada

Figura 3. 7 Esquema de classificação de danos em construções, [33].

Na amostra analisada os danos exteriores mais observados foram os que se encontram na Figura 3.8, podendo deste modo, verificar-se que a fendilhação acentuada, na qual ocorreram movimentos relativos entre as pedras e queda de reboco (D2), foi o dano mais observado em empenas e fachadas das construções.

Relativamente aos danos interiores, a classificação foi mais complicada, uma vez que o número de fotografias era muito menor que aquele que possibilitou a classificação dos danos exteriores, [33]. Os projectos analisados também não fornecem grande informação sobre danos interiores, fazendo apenas referência se pavimentos, paredes e tectos apresentavam danificação ou não, não especificando deste modo o dano.

Contudo, compreendeu-se que a causa dos danos interiores era a falta de ligação entre os elementos interiores e os exteriores, havendo uma falta de solidarização do conjunto, levando assim, a uma separação e a uma danificação dos elementos interiores.

Porém, apesar desta falta de ligação, em muitos casos da amostra analisada não se observou danificação dos elementos interiores, sendo em alguns apenas observada uma danificação ligeira, levando por vezes à substituição dos respectivos elementos. Existiu apenas um número reduzido de casos em que se observou uma elevada deformação das vigas de pavimento.

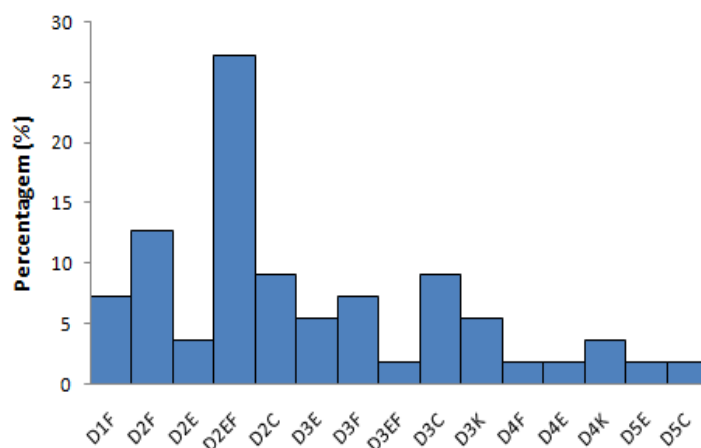


Figura 3. 8 Danos mais observados

Na Tabela 3.1, encontram-se apresentados os danos exteriores por tipo de construção, ou seja, a percentagem de edifícios do respectivo tipo de construção que apresenta um determinado dano. Assim, pode-se ver por exemplo, que 60% das construções mistas 2 (CM2) apresentam fendilhações acentuadas com queda de reboco em

empenas e fachadas. No caso da construção corrente, na amostra analisada foi observado apenas um edifício de construção corrente, logo a percentagem aqui obtida não deverá ser levada em conta, devido ao número reduzido deste tipo de edifícios analisados.

No entanto, existem edifícios que não foram sujeitos a projectos de execução, foram apenas feitas pequenas reparações. Uma vez que se considerou que os danos apresentados por estes não eram relevantes, procedeu-se apenas à classificação do grau de conservação dos mesmos (Figura 3.9a)), em degrada, regular e boa, e a uma classificação do grau de intervenção (Figura 3.9b)), em urgente, normal e sem urgência, não sendo deste modo, referido qual o dano. Estes tipos de intervenção foram designados de “Pequenas Reparções”.

Pela análise dos respectivos gráficos pode-se observar que a maioria destes edifícios apresentava um grau de conservação regular e uma prioridade de reabilitação normal.

Tabela 3. 1 Relação dos danos observados com o tipo de construção

Dano	CT		CTA		CM2		CC	
	un	%	un	%	un	%	un	%
D1F	0	0,0	0	0,0	4	20,0	0	0,0
D2F	2	33,3	2	40,0	2	10,0	1	100,0
D2E	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	100,0
D2EF	3	50,0	2	40,0	12	60,0	0	0,0
D2C	2	33,3	1	20,0	4	20,0	0	0,0
D3E	1	16,7	1	20,0	1	5,0	0	0,0
D3F	0	0,0	2	40,0	3	15,0	0	0,0
D3EF	1	16,7	0	0,0	1	5,0	0	0,0
D3C	1	16,7	2	40,0	1	5,0	0	0,0
D3K	1	16,7	0	0,0	4	20,0	0	0,0
D4F	0	0,0	0	0,0	1	5,0	0	0,0
D4E	2	33,3	0	0,0	1	5,0	0	0,0
D4K	0	0,0	0	0,0	1	5,0	0	0,0
D5E	0	0,0	0	0,0	1	5,0	0	0,0
D5C	0	0,0	0	0,0	1	5,0	0	0,0

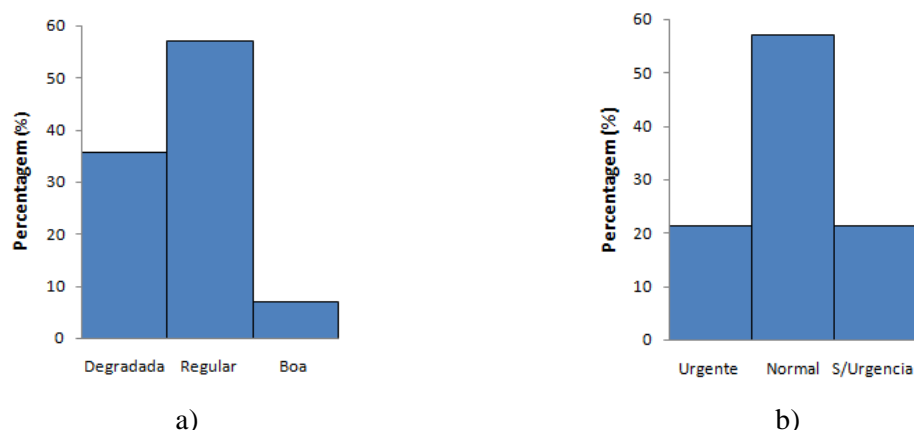


Figura 3. 9 Pequenas reparações efectuadas em edifícios. a) Grau de Conservação de edifícios; b) Prioridade da reabilitação

3.5 Análise das técnicas de reforço mais frequentes na reconstrução dos edifícios da amostra em estudo.

Face aos danos enunciados no ponto anterior, foram contratados como já referido anteriormente, pelo Centro de Promoção da Reconstrução (CPR) diversos gabinetes de arquitectura e engenharia para elaborarem projectos de reabilitação e de construções novas. As primeiras propostas para soluções de reforço estrutural a serem utilizadas foram as que constam no documento “Regras de Reabilitação e Reconstrução de Edifícios Correntes Afectados pela Crise Sísmica do Faial, Pico e S. Jorge, iniciada pelo sismo de 9 de Julho de 1998”, elaborado pelo Laboratório Regional de Engenharia Civil (LREC relatório 100/98), ([3] citado por [34]). Assim, os gabinetes intervenientes respeitaram algumas destas regras, uma vez que a construção tradicional apresentava alguma homogeneidade construtiva. Porém, também existem soluções de reforço diferentes apresentadas pelos respectivos gabinetes.

As soluções apresentadas referem-se a edifícios em zonas rurais e urbanas e segundo o grau de destruição, os edifícios foram classificados de acordo com a intervenção a efectuar em reparação, reabilitação e construção nova, ([35] citado por [34]).

Este capítulo tem por objectivo descrever, analisar e comparar as soluções de reforço propostas pelos diversos gabinetes na amostra em estudo, tentando-se compreender as mais adequadas, tendo em conta o dano a reparar e o custo envolvente. Para tal, utilizou-

se como elementos de estudo os autos de vistoria, os levantamentos de arquitectura e os projectos de execução correspondentes.

As intervenções a realizar visavam a promoção da salubridade e a segurança das construções. A intervenção para a promoção da salubridade resulta de uma desapropriada organização dos compartimentos e de uma tipologia desajustada do agregado familiar. Assim, para se atingir uma melhor funcionalidade do espaço interior, exigência de conforto, segurança e salubridade foram propostas intervenções de acordo com o projectista, o proprietário e o CPR, [30]. Estas intervenções na sua maioria foram interiores, efectuando-se a alteração da compartimentação, no entanto, quando a dimensão do agregado familiar não correspondia à tipologia da construção, foram feitas ampliações, [34].

A nível estrutural, a intervenção visava que as obras efectuadas não reparassem apenas os danos verificados mas que também melhorassem a resistência sísmica para sismos futuros, aproximando-os da resistência da construção nova, [34].

Em resultado dos danos ocorridos, os gabinetes contratados procederam à recuperação dos edifícios danificados. Assim, os tipos de intervenção a efectuar dividiam-se em reparação, reabilitação, reconstrução e construção nova. As reparações eram definidas pelo montante do financiamento inferior a 15000 €, sendo estas associadas a um tipo de intervenção ligeiro, geralmente reboco e pinturas de paredes. As reabilitações estão associadas a intervenções com orçamentos superiores a 15000 €, havendo um tipo de intervenção caracterizado por reforços anti-sísmicos em elementos estruturais. A reconstrução trata-se de grandes intervenções em edifícios que sofreram danos elevados, geralmente com colapso total de fachadas e empenas. No caso das construções novas são todos os edifícios que foram construídos segundo um novo projecto de arquitectura, [36].

É conveniente referir que como não existiu uma diferença clara entre reparação e reabilitação, muitas vezes edifícios que inicialmente tinham sido considerados no grupo das reparações, aquando a execução da obra foram passados para o grupo da reabilitação, face à necessidade de uma maior intervenção a nível estrutural, [36].

Nos edifícios analisados verificou-se que as intervenções a efectuar se dividiram essencialmente em reparações e reabilitações, Figura 3.10, sendo no entanto, a grande maioria dos edifícios sujeitos a reabilitação (77,8%) e apenas um número reduzido sofreram reconstrução, não se verificando nenhum caso de construção nova. De igual

modo, convém referir que 29,6% das construções inicialmente foram inseridas no grupo das reparações e posteriormente em fase de obra passaram para o grupo das reabilitações.

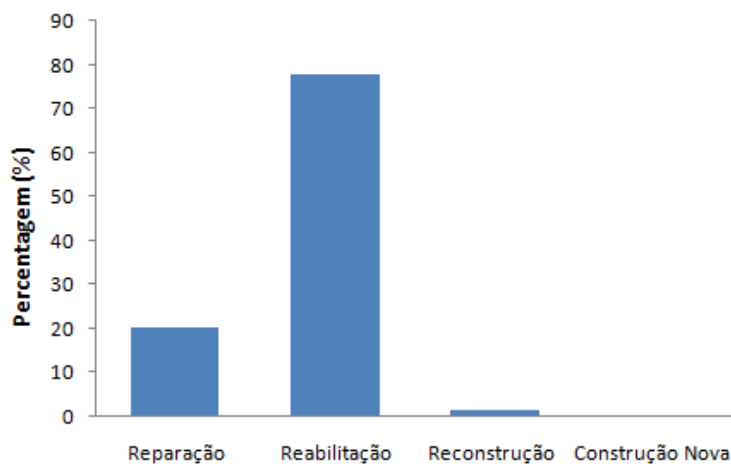


Figura 3. 10 Tipos de intervenção

3.5.1 - Soluções de reforço mais utilizadas na recuperação dos edifícios danificados

Para a recuperação dos edifícios danificados foram utilizadas varias soluções de reforço e reparação, sendo umas mais utilizadas por uns gabinetes e outras por outros. Assim, neste ponto serão apresentadas e seguidamente descritas as várias soluções de reforço utilizadas e soluções para promoção de salubridade, [37]:

- 1- Execução de cintas de solidarização das paredes de alvenaria de pedra a nível do coroamento;
- 2- Consolidação das paredes de alvenaria com reboco armado (rede metálica) dos dois lados da parede, ligado com elementos transversais;
- 3- Reboco armado apenas numa das faces da parede;
- 4- Execução de reboco de argamassa de cimento e areia reforçado com fibra de vidro em paredes de alvenaria de pedra;
- 5- Reboco não armado de parede;
- 6- Colocação de tirantes;
- 7- Melhoramento das ligações dos tirantes às paredes;
- 8- Execução montantes de travamento em betão armado;

- 9- Injecção de calda de cimento a baixa pressão no interior das paredes de pedra;
- 10- Aprumo de cunhais;
- 11- Reforço de cunhais;
- 12- Pregagens de pilares às paredes adjacentes;
- 13- Eliminação de deformações;
- 14- Reparação de fissuras;
- 15- Reconstrução de paredes em alvenaria confinada;
- 16- Elevação da alvenaria de bloco de betão em paredes interiores e exteriores;
- 17- Execução de sapatas de fundação;
- 18- Reforço das fundações;
- 19- Execução de viga de remate do reboco armado a nível da fundação;
- 20- Execução de uma pequena vala junto às fundações, substituindo-se os solos existentes por material granular, para drenagem;
- 21- Consolidação das estruturas de madeira;
- 22- Execução das ligações da estrutura da cobertura ao lintel;
- 23- Revestimento da área da cobertura por uma lajeta de betão sobre a rede placner;
- 24- Recuperação e reforço do pavimento;
- 25- Reforço de apoios de pavimentos e coberturas;
- 26- Contraventamentos de pavimentos e coberturas;
- 27- Reorganização interna do fogo;
- 28- Pinturas.

Relativamente às soluções apresentadas anteriormente, as 16 primeiras referem-se essencialmente à consolidação e solidarização das paredes exteriores, ou seja a um melhor funcionamento destas quando sujeitas ao sismo. As 4 seguintes fazem referência a um reforço das fundações e as 6 seguintes à consolidação de estruturas de madeira (cobertura e pavimentos). Por fim, as duas últimas referem-se a questões de salubridade e higiene.

De seguida é apresentada uma breve descrição de cada uma das soluções referidas acompanhadas de esquemas elucidativos referentes às mesmas.

- 1- A execução de cintas de solidarização ao nível do coroamento consiste essencialmente na execução de uma cinta de betão armado no coroamento exterior das paredes em toda a periferia do edifício (Figura 3.11) e ligada à estrutura de

madeira, (Figura 3.12), [34]. Este é um tipo de ligação, existindo mais tipos, dependendo estes do gabinete que está responsável pelo reforço. Estas cintas provocam o travamento das paredes fazendo com que o edifício funcione como um só e não as paredes isoladamente. No caso de dificuldade de execução de cintas de topo, alguns gabinetes admitem a execução de uma banda com uma altura de 50 cm junto ao topo das paredes e no seu paramento exterior com malha de aço distendido.

2 e 3- A execução de reboco armado (Figura 3.13 e Figura 3.14) envolve a limpeza de juntas e o seu refechamento para aplicação de uma rede metálica (Figura 3.15), devidamente ancorada por peças metálicas e finalmente uma camada de recobrimento, [34]. Este reboco armado pode ser aplicado apenas numa face ou nas duas faces.

4- O reforço com fibras de vidro é superficial, não apresentando conectores de ligação, sendo apenas constituído por faixas de material compósito com cerca de 10 cm de largura, aplicadas em duas camadas que trabalham em conjunto formando uma membrana resistente. Assim, são colocadas duas faixas, em que a primeira camada acompanha as irregularidades da parede, sendo estas preenchidas por argamassa de forma a criar uma superfície regular de aplicação da segunda camada, [29].

5- A aplicação apenas de reboco é semelhante à aplicação de reboco armado, devendo inicialmente efectuar-se a limpeza.

6- Os tirantes são utilizados em paredes muito longas, com objectivo de interligar as paredes exteriores opostas e são aplicados tanto a nível de pavimento como da cobertura, [34]. Na Figura 3.16 encontra-se um pormenor de ligação dos tirantes às paredes de alvenaria de pedra.

7- O melhoramento das ligações dos tirantes às paredes que os apoiam é obtido através da aplicação de uma cantoneira especificada em chapa quinada (Figura 3.16).

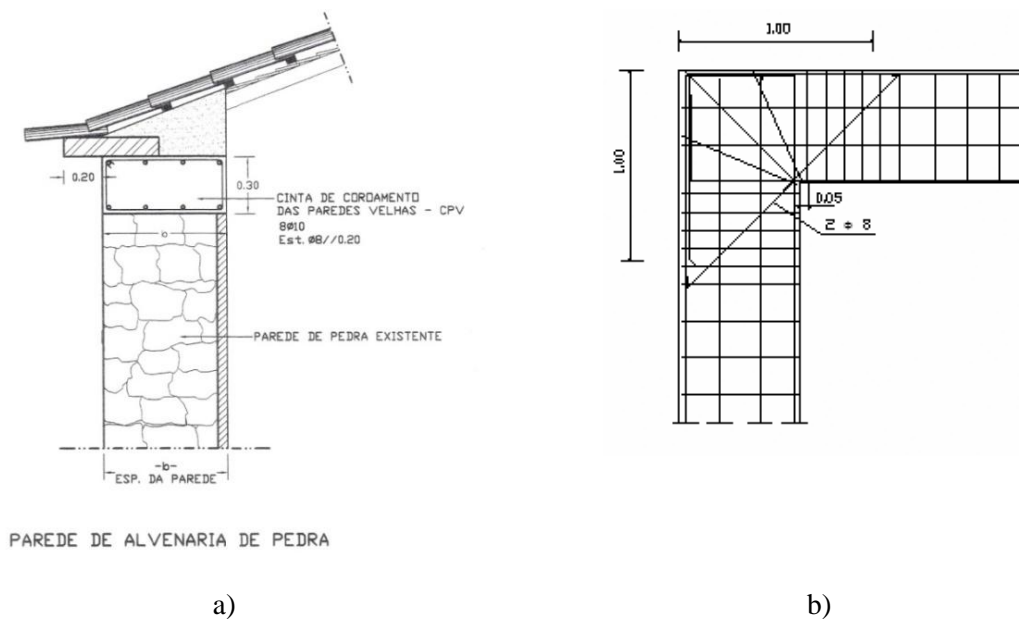


Figura 3. 11 Cinta de solidarização a nível da cobertura; a) cinta em corte; b) pormenor de execução da cinta nos cantos, [34], [37].

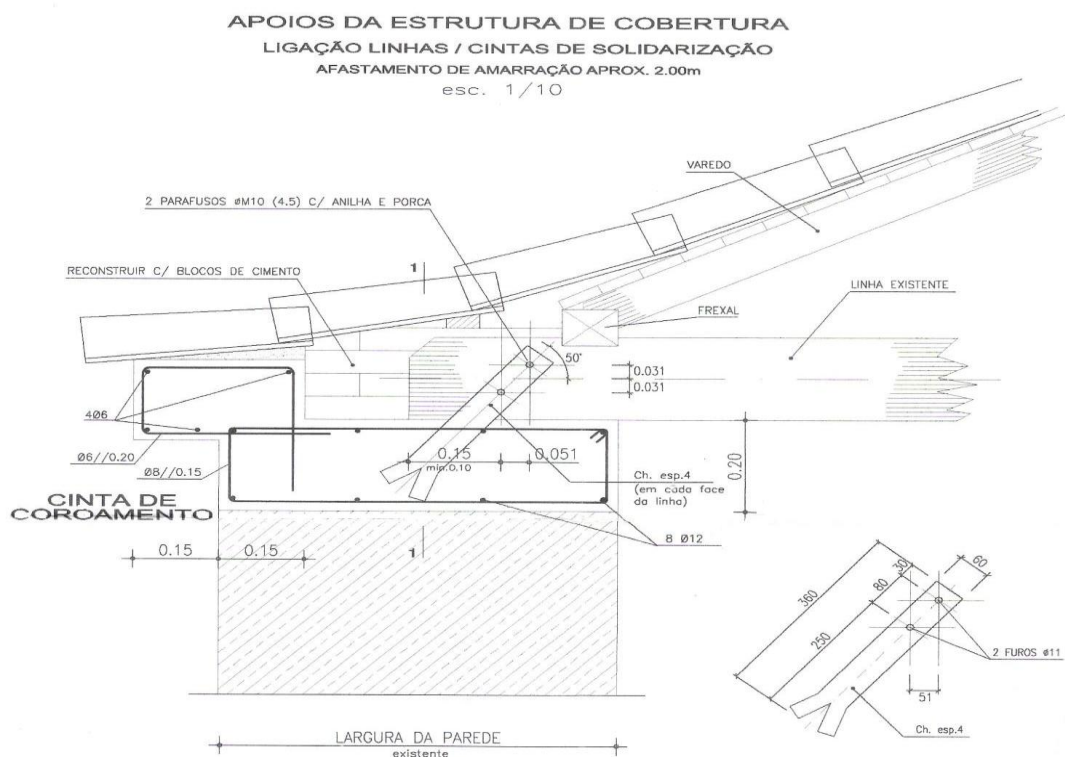


Figura 3. 12 Ligação da estrutura de madeira às cintas de solidarização, [37].

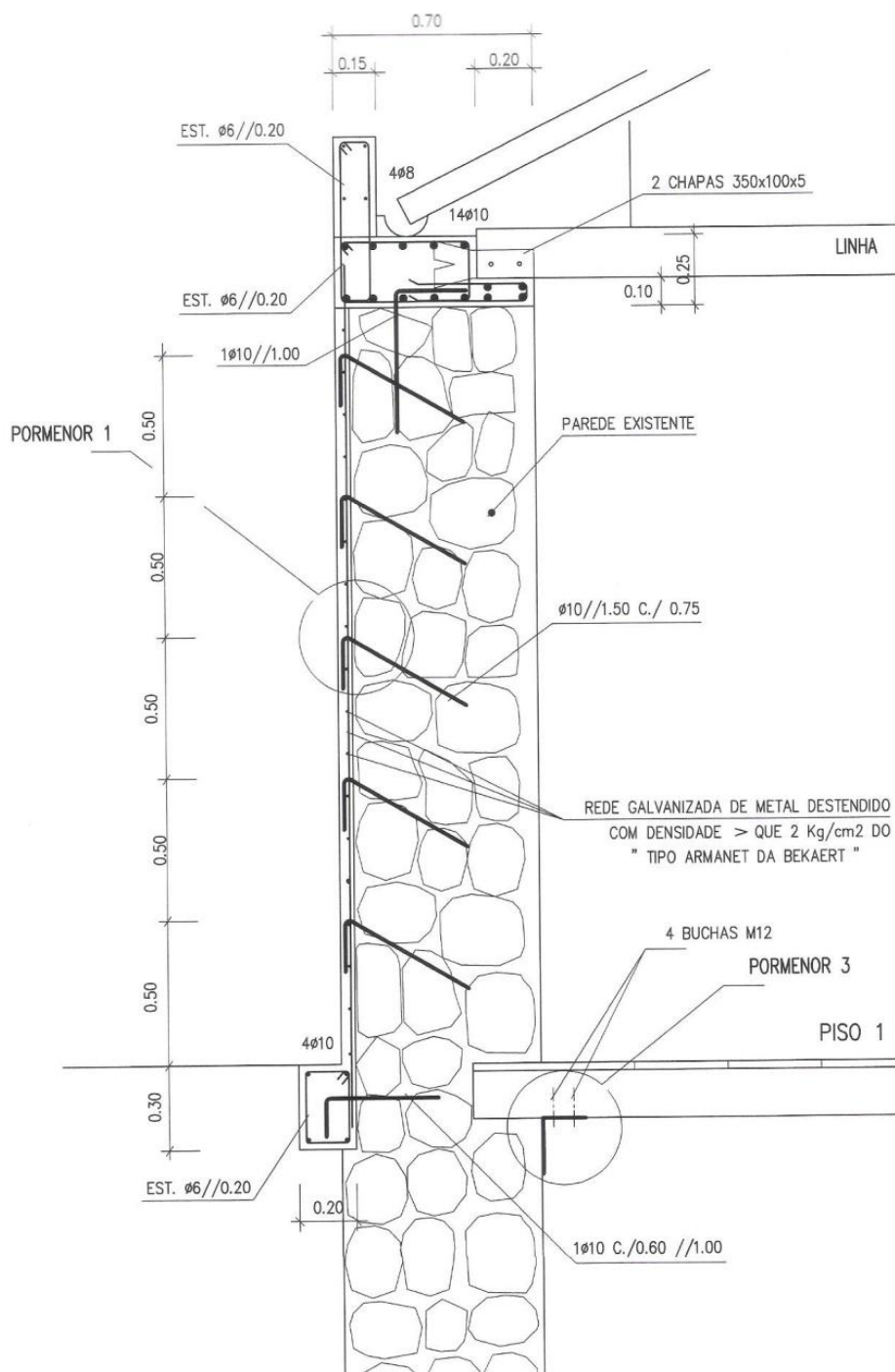


Figura 3. 13 Reboco armado numa face e pormenores de ligação do pavimento à alvenaria de pedra e da cinta de remate de reboco á alvenaria, [37].

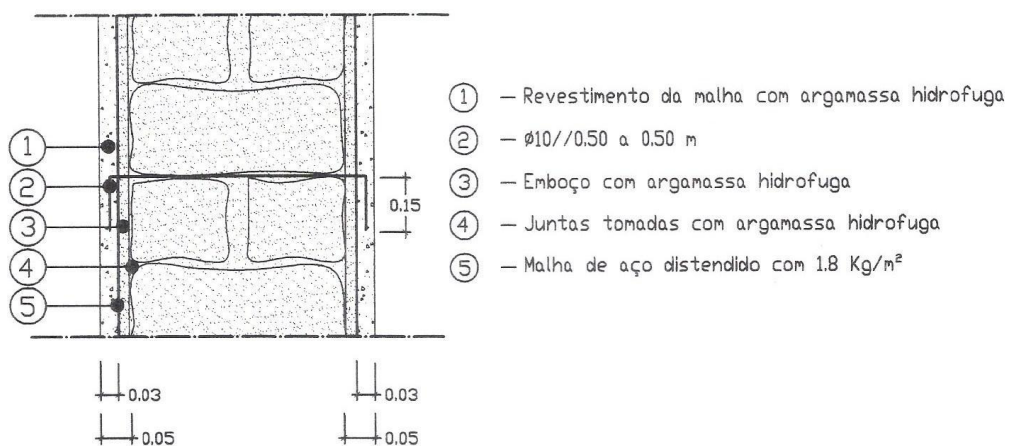


Figura 3. 14 Reboco armado nas duas faces da parede, [37].

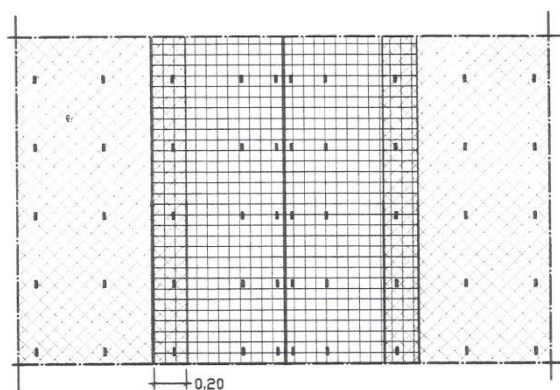


Figura 3. 15 Rede metálica aplicada no reboco armado, zona dos cunhais, [37].

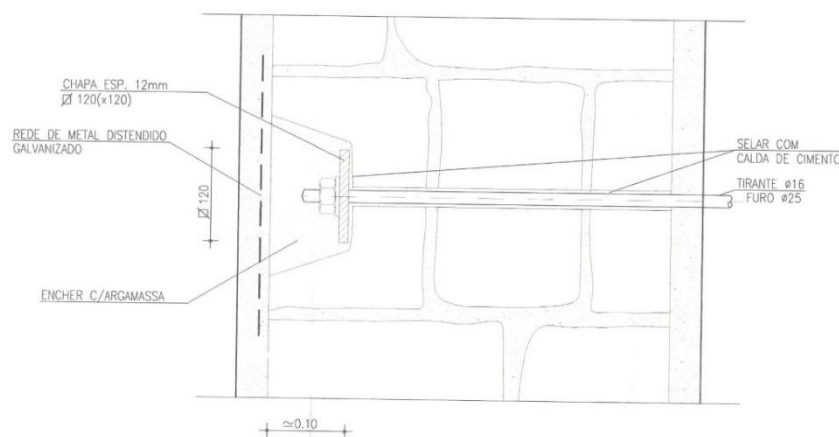


Figura 3. 16 Ligação do tirante à parede de alvenaria de pedra, [37].

8- A execução de montantes de solidarização surge para zonas de reconstrução integral de paredes. Deste modo, estes montantes de betão armado deverão ser colocados nos cantos dos edifícios sempre que se execute uma laje de betão armado e ainda deverão ser efectuadas ligações entre a estrutura nova e as paredes de alvenaria, [34].

9- Uma vez que muitas das paredes são constituídas por dois panos com miolo a preencher, sendo na maior parte das vezes este miolo fraco, a injeção de calda de cimento leva a um melhor preenchimento dos espaços vazios e a uma maior consolidação da parede.

10- O aprumo de cunhais consiste na eliminação das deformações que estes apresentem, através de cabos ou macacos hidráulicos e no emparelhamento das pedras.

11- O reforço dos cunhais tem como objectivo garantir uma melhor ligação entre as paredes, conferindo-lhes assim, um melhor comportamento sísmico e aumentando a sua estabilidade estrutural. Este reforço consiste na picagem de reboco e limpeza de juntas, introduzindo-se seguidamente varões de aço e preenchendo os espaços vazios com calda, (Figura 3.17).

12- A pregagem de pilares consiste na execução de aberturas na parede de alvenaria, sendo realizados nestas, pilares em betão armado, (Figura 3.18).

13- A eliminação de deformações consiste na supressão dos desaprumos ou enfolamentos localizados com recolocação das pedras deslocadas nas suas posições originais, recorrendo-se geralmente a cabos ou macacos hidráulicos, [34].

14- A reparação de fissuras é feita através da injeção de calda, provocando a selagem destas.

15- A reconstrução de paredes em alvenaria confinada é caracterizada como um sistema de paredes executadas rigidamente entre vigas e pilares, ou cintas e montantes construtivos de pequena dimensão e ligeiramente armados nos quatro

lados (mas sem a intenção de se comportarem como uma estrutura rígida ou porticada). Os respectivos elementos de confinamento são executados após a elevação da parede, podendo estes serem realizados com auxílio de cofragens ficando com as faces de acabamento à vista ou serem embutidos no interior da parede, [36].

16- Elevação de alvenaria de bloco de betão em paredes interiores e exteriores que consiste num aumento superior das paredes, sendo esta parte da parede executada em alvenaria de bloco de betão.

17- Muitos dos edifícios não apresentavam sapatas, deste modo, aquando o reforço dos mesmos, alguns gabinetes consideram a execução de sapatas (Figura 3.19a)), uma solução de reforço.

18- O reforço das sapatas obtém-se pela envoltória destas com betão ciclópico ou de acordo com a Figura 3.19b).

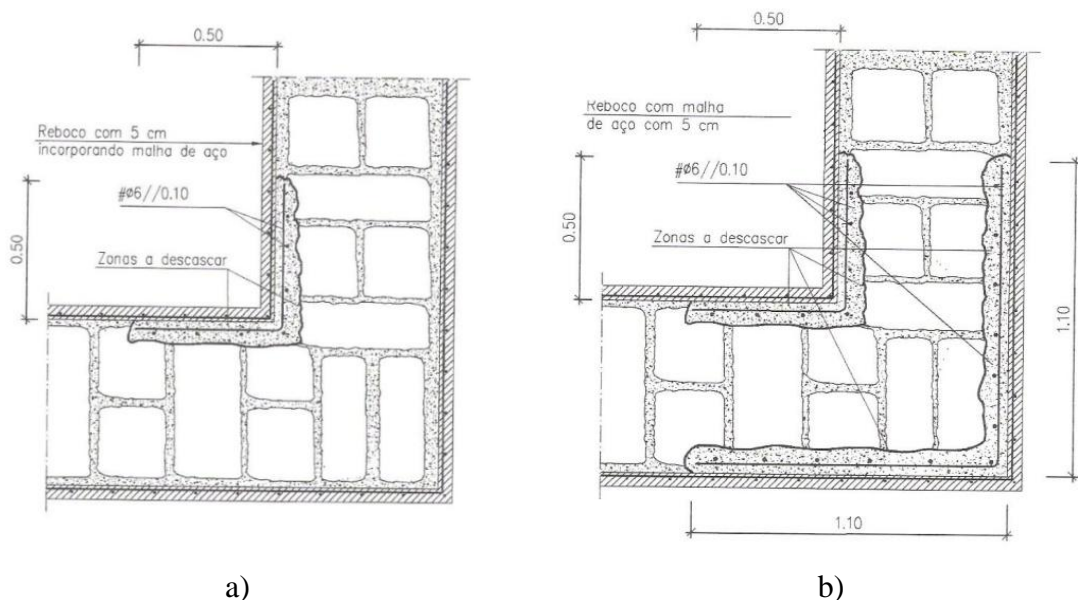


Figura 3. 17 Reforço de cunhais; a) reforço apenas na parte interna; b) reforço na parte interna e na parte externa, [37].

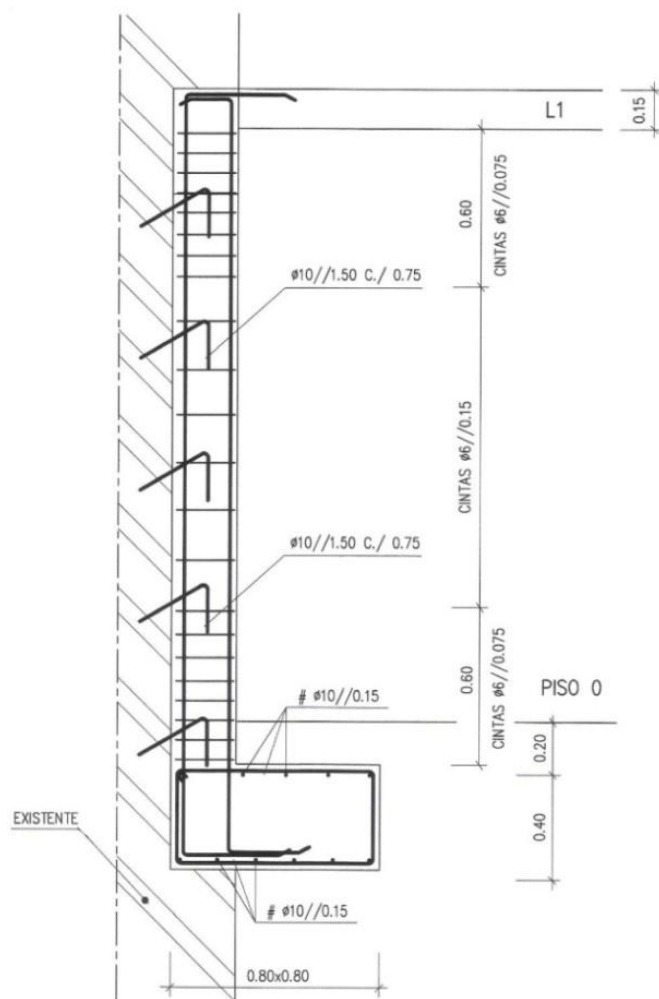


Figura 3. 18 Pregagem de pilares em paredes de alvenaria e execução de sapata, [37].

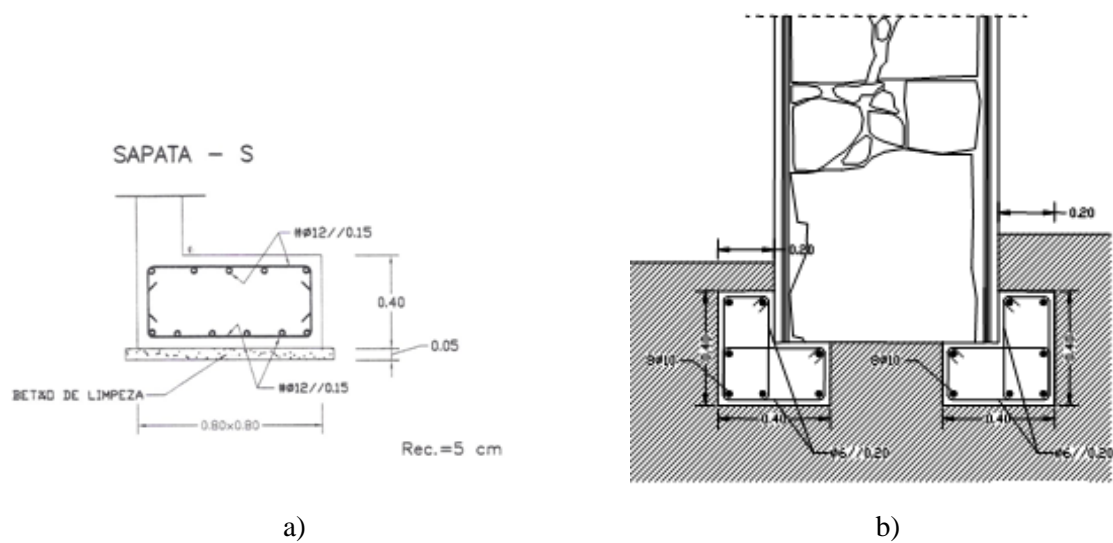


Figura 3. 19 Fundações; a) Pormenor de uma sapata; b) Reforço de uma fundação, [37].

19- Para um melhor remate do reboco armado e uma melhor ligação deste à parede de alvenaria de pedra foi considerada algumas vezes como técnica de reforço a execução de uma viga de remate a nível da fundação. Esta deverá ser adequadamente amarrada à parede de alvenaria e à fundação, Figura 3.20. Também na Figura 3.13 apresentada anteriormente, pode-se ver a viga de remate do reboco e a ligação desta à parede de alvenaria.

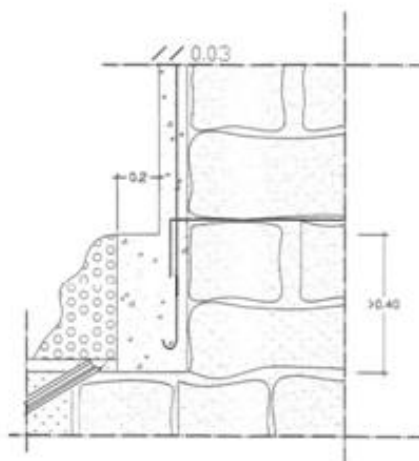


Figura 3. 20 Pormenor de ligação do reboco à fundação, [37].

20- A execução de uma pequena vala junto às fundações, consiste em substituir nesta zona, o terreno existente por material granular, de modo que, este efectue a drenagem, evitando a subida de água por capilaridade nas paredes da fundação.

21- A consolidação das estruturas de madeira consiste em garantir que as ligações danificadas pelo sismo ou outros (como humidade), passem a assegurar um funcionamento sísmico em conjunto, [34]. A Figura 3.21 mostra um reforço possível.

22- Para um melhor funcionamento de todo o edifício à acção do sismo será importante garantir uma ligação entre a estrutura da cobertura e o lintel (Figura 3.22), podendo esta ser obtida através de elementos metálicos.

23- Uma outra solução usada foi a execução de uma lajeta em betão no revestimento da área da cobertura. Assim, foi substituída a estrutura de madeira por uma lajeta em betão sob rede placner, [37].

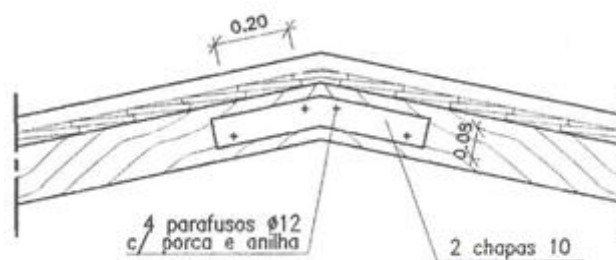


Figura 3. 21 Reforço da cobertura, [37].

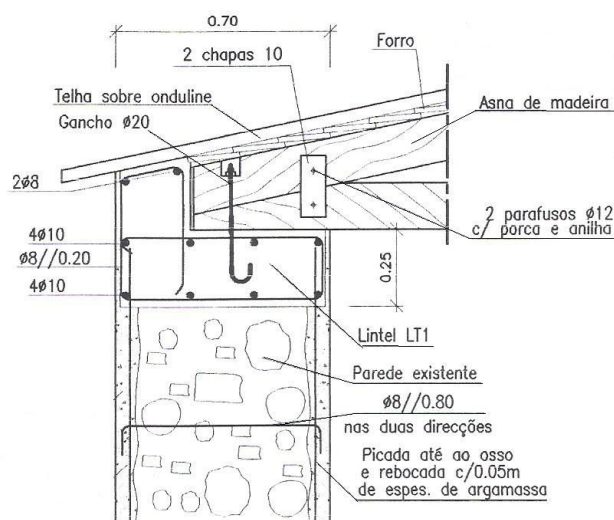


Figura 3. 22 Ligação da cobertura à cinta de coroamento, [37].

24- A recuperação e reforço do pavimento consiste em melhorar as zonas danificadas pelo sismo ou por outros agentes, e reforçar as mesmas para que quando sujeitas a um novo sismo estas apresentem um bom comportamento.

25- O reforço de apoio de pavimentos e coberturas, tem como objectivo uma melhor ligação destes à estrutura de alvenaria de pedra (Figura 3.23). Na maioria das vezes estes elementos encontram-se apenas apoiados, funcionando só por atrito, não existindo qualquer tipo de ligação. Deste modo, torna-se importante um reforço da ligação destes para que quando sujeitos a um novo sismo a estrutura funcione toda em conjunto. Este, pode ser obtido apenas pela aplicação de elementos metálicos, como mostrava a Figura 3.13, ou pode executado como mostra a Figura 3.23.

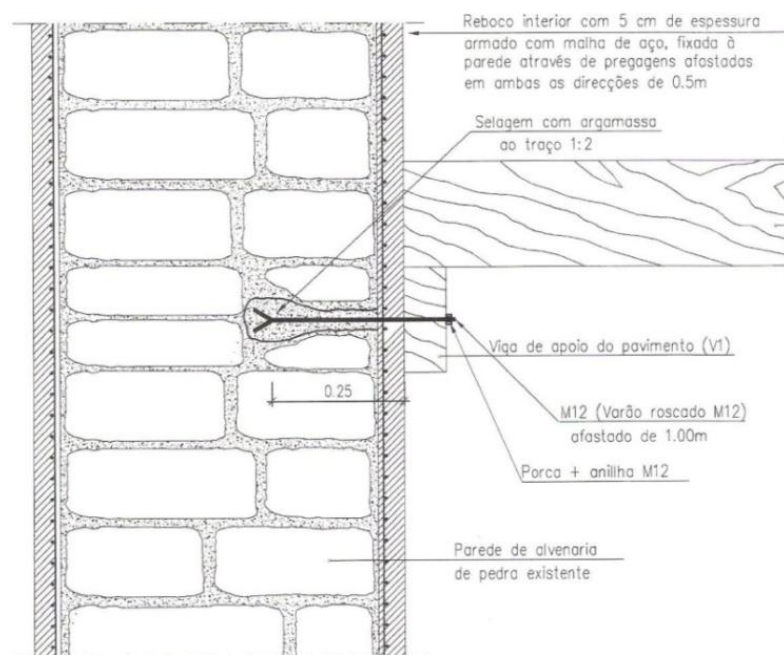


Figura 3. 23 Reforço do apoio dos pavimentos nas paredes de alvenaria de pedra, [37].

26- O contraventamento de pavimentos e coberturas obtém-se pela aplicação de elementos diagonais num determinado plano. Estes aplicam-se a pavimentos de madeira com ausência de compartimentação interior e a coberturas com inexistência de forro de apoio da telha, e destinam-se a proporcionar aos pavimentos e coberturas um melhor funcionamento de distribuição das forças sísmicas, [34].

27- Por questões de salubridade e um melhor conforto para o agregado familiar, efectua-se uma remodelação da compartimentação interior, fazendo assim, uma melhor distribuição do espaço interior e um melhor aproveitamento deste.

28- As pinturas são utilizadas para um melhor acabamento, para uma protecção da superfície a pintar e para uma maior higiene.

3.5.2- Soluções utilizadas pelos gabinetes de projecto

A consulta dos vários projectos permitiu verificar as soluções de reforço mais utilizadas para a reparação dos danos provocados pelo sismo. Assim, estes projectos foram elaborados por oito gabinetes diferentes, que intervieram no processo de reconstrução que decorreu na ilha do Faial. Estes gabinetes encontram-se designados pelas letras de “A a H”

na Tabela 3.2, na qual se procuram resumir as soluções de reforço mais utilizadas pelos mesmos, encontrando-se estas numeradas de “1 a 28”, de acordo com a descrição feita anteriormente.

Tabela 3. 2 Soluções de reforço utilizadas pelos gabinetes

Gabinete	Solução de Reforço																											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
A	x	x				x				x														x			x	x
B	x			x		x	x	x							x	x					x	x						x
C	x		x			x		x				x					x		x		x				x		x	x
D	x	x											x						x	x							x	x
E	x	x	x			x			x						x			x							x			x
F	x	x	x			x					x			x							x	x			x			x
G	x	x			x							x									x			x			x	x
H	x	x				x	x		x									x			x		x		x	x		x

Pela análise da Tabela 3.2 verifica-se que todos os gabinetes utilizaram a solução 1 e a solução 28 e à excepção do gabinete B e do gabinete C todos usaram a solução 2. As soluções 10 e 11 relativas a aprumo e reforço de cunhais só foram usadas cada uma por apenas um gabinete. Também a solução 13 relativa à eliminação de deformações só foi usada por um gabinete. Contrariamente, a solução 6 referente à aplicação de tirantes foi uma solução muito usada, sendo utilizada por quase todos os gabinetes.

3.5.2.1 Análise das soluções de reforço usadas pelos respectivos gabinetes

Como já foi referido anteriormente, analisou-se apenas uma amostra de 55 habitações, sendo uns projectos referentes a intervenções de reabilitação e outros sujeitos apenas a pequenas reparações.

Pela análise já efectuada anteriormente, verificou-se que há soluções que são usadas por todos os gabinetes ou por quase todos e outras que são menos utilizadas, sendo apenas usadas por alguns. Deste modo, para uma melhor compreensão de quais as soluções mais ou menos apropriadas será efectuada de seguida uma análise mais detalhada de algumas soluções usadas.

Relativamente à solução de reforço 1, que diz respeito à aplicação de cintas de solidarização nas paredes de alvenaria de pedra, verificou-se que foi uma solução que todos os gabinetes adoptaram. Contudo, consoante o gabinete responsável e a respectiva dificuldade de execução, esta solução poderia ser executada de várias formas: aplicar a cinta em todo o coroamento, ou aplicar uma banda só pela parte interior ou só pela parte

exterior da parede sem remover a cobertura, mas reforçando-se nesta zona a malha incorporada no reboco armado. Esta é uma solução importante e com muita relevância, visto que, muitas vezes as várias paredes não se encontram ligadas correctamente e quando sujeitas a um sismo acabam por funcionar individualmente, apresentando deste modo, um pior comportamento. Assim, esta permitirá uma melhor ligação das respectivas paredes e também proporcionará uma melhor interligação com os elementos da cobertura através de elementos metálicos, sendo estes amarrados ao interior da armadura, originando no final um funcionamento em conjunto destes elementos quando solicitados por um sismo e não individual, sendo isto benéfico. Porém, nem sempre estas apresentam um bom funcionamento, pois quando solicitadas novamente a um sismo ou quando solicitadas por acções horizontais, as cintas funcionam suportando as acções, mas as paredes de alvenaria poderão entrar em colapso, gera-se um efeito “pipa”. A pouca resistência deste tipo de paredes a acções horizontais e a má ligação entre os dois tipos de materiais pode estar na origem deste mau funcionamento.

A aplicação de reboco armado nas paredes de alvenaria de pedra, apresentada pela solução 2, foi também uma solução muito usada. Para uma consolidação das paredes de alvenaria, esta torna-se uma técnica fundamental em paredes de alvenaria de pedra seca ou fracamente argamassadas. Esta solução passa pela limpeza das juntas e o seu refechamento com argamassa de cimento, sendo posteriormente executado o reboco de argamassa de cimento tendo incorporado uma rede metálica de aço galvanizado.

O reboco armado apresenta um bom funcionamento quando aplicado em ambos os paramentos da parede (exterior e interior), sendo complementado com elementos metálicos transversais, que efectuem a ligação entre o reboco armado exterior e o reboco armado interior, proporcionando deste modo, uma melhor ligação dos panos da parede de alvenaria, ficando esta mais consolidada. Porém, verificou-se que dois gabinetes para além de usarem reboco armado em ambos os paramentos, em alguns edifícios usaram reboco armado apenas num paramento. Este facto é resultado de em muitos casos estes gabinetes quererem manter traça original típica deste tipo de habitações, preservando assim, a imagem do edifício, com a aplicação do reboco apenas pela parte interior, e noutras situações em que haja uma maior dificuldade de aplicação do reboco armado em ambos os paramentos ou em casos em que estes só aplicam reboco armado nas zonas mais deterioradas. No entanto, deverá salientar-se que esta solução não funcionará tão bem

como a aplicação de reboco armado em ambos os paramentos, pois, a ligação não é tão eficaz, uma vez que os elementos metálicos não fazem ligação de um lado ao outro da parede, sendo neste caso apenas ancorados ao interior da parede. No caso da ocorrência de um sismo com uma componente vertical importante as paredes de duas folhas tendem a esboroar-se e o reforço apenas de um dos lados é insuficiente.

Verificou-se também que um dos gabinetes em vez de reboco armado aplicou reboco com fibras de vidro, solução 4. Este tipo de reboco quando colocado em ambos os paramentos da parede, confere uma maior resistência da parede às tensões de tracção que se desenvolvem segundo direcções principais, não verticais, que decorrem da presença de esforços transversos elevados, sendo estes resultantes da acção de ciclos repetidos e alternados de carga horizontal, [29].

Como já referido, uma outra solução também bastante usada foi a solução 6, referente à aplicação de tirantes para interligar as paredes exteriores opostas. Esta é uma boa solução, no entanto, só dois dos gabinetes é que tiveram o cuidado de melhorar a respectiva ligação dos tirantes às paredes (solução 7). Isto é um factor importante, porque esta ligação é que vai determinar o funcionamento do tirante, funcionando melhor nos casos em que houve o cuidado com o reforço da ligação através da aplicação de uma chapa como se vê na Figura 3.16, dificultando deste modo, o arrancamento do tirante.

Relativamente aos cunhais, só dois gabinetes é que se preocuparam com o aprumo e reforço destes. Esta é uma solução que deveria também ter sido considerada pelos outros gabinetes, visto que, quando solicitados por um sismo, os cunhais têm tendência a desprenderem-se.

No entanto, uma solução adoptada por dois gabinetes e que não é considerada uma boa solução é a solução 12, respeitante à pregagem de pilares em paredes de alvenaria. Esta, não é considerada uma boa solução, uma vez que os pilares em betão armado são elementos que apresentam menos rigidez que a parede em alvenaria de pedra, tendo assim, um pior comportamento ao sismo. Também o facto de se efectuarem aberturas nas paredes para a execução dos pilares altera bastante o comportamento final da mesma.

A nível de fundações (soluções 17 e 18), verificou-se que nem todos os gabinetes mostraram preocupação com as mesmas. No entanto, este é um método de intervenção fundamental, uma vez que muitos destes edifícios apresentam fundações deficientes, que quando sujeitas a um sismo provocam a cedência do edifício em questão e abertura de

grandes fissuras nas empenas. Deste modo, torna-se importante prestar atenção a estas, reforçando-as ou executando outras novas. Por outro lado todas as paredes que foram reforçadas com reboco armado deveriam ter previsto uma boa ligação entre a malha e uma viga de fundação, que deveria ser colocada paralelamente à parede, reforçando assim também a fundação. Nestes casos era igualmente importante uma boa ligação entre as vigas (uma de cada lado da parede) e a fundação da parede.

A ligação da cobertura é importante para que não haja separação desta com as paredes exteriores e para que a parede adquira um apoio ao nível da cobertura. Para que esta ligação se efective, é conveniente que exista uma ligação adequada entre ambas, do género da apresentada na Figura 3.12 ou na Figura 3.22, existindo ainda outras formas de ligação possíveis. Porém, existem gabinetes que não se preocuparam em efectuar esta ligação, efectuando apenas a cinta de coroamento e não executando a ligação da cobertura à mesma. Este é um erro grave, pois, mesmo que se tenha o cuidado em efectuar uma boa ligação dos vários elementos da cobertura entre si, se aquando o reforço não se executa uma ligação da mesma às paredes de alvenaria, num próximo sismo esta soltar-se-á do edifício. E é importante salientar que as coberturas tradicionais se encontram apenas apoiadas nas paredes exteriores, funcionando apenas por atrito, não havendo qualquer tipo de ligação. O mesmo acontece com os pavimentos.

Uma outra solução considerada por alguns gabinetes, mas no que respeita à salubridade, higiene e conforto, foi a solução 27. Muitas habitações não possuíam estas condições, então face a isto, alguns gabinetes, por exigência do CPR, para que fosse atingida uma melhor funcionalidade do espaço interior, um maior conforto, segurança e salubridade propuseram uma reorganização do espaço interior e quando necessário um aumento da habitação. O gabinete A foi o que mais recorreu à referida solução, procedendo várias vezes a remodelações interiores e a ampliações para criação de casas de banho e despensas, das quais muitas das habitações não usufruíam.

Os restantes gabinetes na maioria das vezes não efectuavam ampliações, procedendo apenas a remodelações interiores. O gabinete H, geralmente não procedeu a reorganizações interiores, mas efectuou ampliações sempre que considerou necessário. No entanto, ainda existiram gabinetes que infelizmente não se preocuparam com a questão da salubridade e conforto das habitações.

3.5.2.2 Breve análise de orçamentos

Para a realização dos trabalhos inerentes a estas soluções foi estabelecida uma tabela de preços unitários base para que estes fossem semelhantes para todos os gabinetes. Deste modo, analisando os respectivos orçamentos verificou-se que os consumos unitários foram respeitados por todos.

No entanto, na escolha de soluções a utilizar e os custos que a mesma implicava, uns conseguiram melhores orçamentos que outros. Analisando algumas soluções e as implicações que estas teriam verificou-se que a aplicação de reboco armado pelo interior teria um maior custo que só a aplicação de reboco armado pelo exterior. Isto porque o reboco pelo interior implica uma remodelação da instalação eléctrica, por exemplo as tomadas e em alguns casos a substituição de azulejo, implicando desta forma, um maior custo para a execução desta tarefa.

O mesmo acontece no caso das cintas periféricas na cobertura, as cintas que implicam um levantamento da estrutura da cobertura são as que apresentam custos mais elevados.

De igual modo, os gabinetes que previram a pregagem de pilares, acarretam no seu orçamento o custo desta solução, que para além de não ser uma solução muito adequada torna a intervenção com um custo mais elevado.

No que respeita a rebocos, o gabinete que utilizou fibras de vidro em vez da malha de aço galvanizado, atingiu menores custos com o reboco, uma vez que, pela análise dos orçamentos se verificou que a utilização de fibras de vidro era uma solução mais barata.

Finalmente, é importante referir que por vezes os menores valores associados à intervenção a realizar eram consequência de soluções incompletas, como seja a falta de ligação da cobertura à cinta de coroamento por exemplo. O conveniente seria associar a melhor solução ao menor preço, o que por vezes não acontece.

CAPITULO 4: ANÁLISE SÍSMICA DE DUAS CASAS DO PARQUE HABITACIONAL

4.1 Considerações Gerais

A região autónoma dos Açores é uma região com actividade geodinâmica intensa, apresentando uma morfologia e tectónica particulares, cuja manifestação é traduzida numa elevada actividade sísmica e vulcânica, [38]. Torna-se assim fundamental compreender os efeitos desta elevada actividade sísmica nas respectivas construções para posteriormente proceder ao seu reforço, numa perspectiva de corrigir os danos e melhorar o seu comportamento face a outros sismos.

Tendo por base o método dos elementos finitos e através de modelações estruturais é possível simular o comportamento das estruturas quando sujeitas a um sismo, podendo desta forma, compreender-se melhor o funcionamento estrutural e quais os seus pontos frágeis.

Contudo, na modelação destes edifícios muitas vezes surgem dificuldades associadas à caracterização dos materiais constituintes, nomeadamente resistência e deformabilidade, isto devido à heterogeneidade dos materiais e às técnicas de construção utilizadas nas estruturas antigas de alvenaria de pedra, sendo assim essencial a realização de uma boa inspecção e de ensaios “in situ”, de modo a aproximar a modelação o máximo possível da realidade.

Neste capítulo será feita a análise dinâmica de duas habitações da ilha do Faial, sendo uma constituída por três pisos, situada na rua Serpa Pinto, nº 35 e a outra constituída por apenas um piso, sita na Portela, nº 31, na freguesia da Feteira, [37].

Assim, no presente capítulo tenta-se compreender e comparar o funcionamento dos dois edifícios face ao sismo ocorrido a 9 de Julho de 1998, antes e depois do respectivo reforço, procedendo-se igualmente a uma comparação entre os dois, visto que apresentam alturas diferentes, procurando-se deste modo, entender como a altura pode interferir no comportamento do edifício quando sujeito a um sismo.

4.2 Descrição dos edifícios

- Casa nº 35

A casa em estudo situa-se na Rua Serpa Pinto, nº 35 da freguesia Matriz, concelho da Horta na ilha do Faial. Esta está implantada em banda numa rua central da cidade da Horta, apresentando a sua fachada principal completamente lisa, manifestando-se apenas as saliências habituais dos beirais e os vãos envolvidos por faixas cinzentas (Figura 4.1a)), [37]. Como é hábito em edificações em banda, estas são prolongadas nas traseiras numa faixa estreita encostada a um dos vizinhos (Figura 4.1b), 4.1c), 4.1d)), sendo neste caso ao da esquerda. As respectivas coberturas são de duas águas com o revestimento em telha regional de canudo, [37].

O piso inferior na parte da frente destina-se a um estabelecimento comercial, enquanto nas traseiras existe uma pequena loja de arrumos da habitação. O primeiro piso é composto por duas salas que ocupam o corpo principal e uma cozinha nas traseiras, no corpo que se prolonga encostado ao vizinho. O segundo andar é composto por um quarto e uma sala de estar na parte da frente, dois quartos de dormir e um quarto de banho na parte de trás.

Relativamente aos elementos estruturais, é importante referir que as paredes exteriores da construção são em alvenaria de pedra irregular, formando parede de dupla face, em que o preenchimento dos vazios interiores é realizado com materiais de pequena granulometria aglutinados com argamassa de cal. O respectivo reboco das paredes é realizado em argamassa de cimento. A fachada apresenta vários vãos (Figura 4.1a)), e as empenas são cegas, [37].

Normalmente os cunhais são elementos de particular atenção e devido a este facto são, geralmente, realizados com pedras melhores, quer em dimensão, quer em forma, dotando deste modo, a construção de alguma estabilidade.

As paredes interiores do edifício são em tabique sem qualquer função resistente, porém, existe uma parede interior considerada resistente. Esta é constituída por prumos de madeira ao alto de $12 \times 12 \text{ cm}^2$, e espaçados de 15 cm, com umas travessas de tábuas de madeira de cada um dos lados dos prumos, sendo o espaço entre as tábuas preenchido com pedras, tijolos e argamassa, [37].

No que respeita à cobertura, os barrotes definem as águas e encontram-se no cumeeira ora em tesoura, ora numa cumeeira contínua, enquanto na outra extremidade o seu apoio é igual, sobre um frechal que é entalhado nos tirantes horizontais. Estes tirantes estruturam o piso do sótão, por dar apoio ao soalho. Sobre os barrotes são assentes tábuas de guarda-pó, que apoiam a telha da cobertura, [37].

Relativamente às fundações, normalmente este tipo de construções são iniciadas sobre o terreno natural depois de uma pequena escavação superficial. Para as fundações das paredes exteriores é constituído um cabouco também de alvenaria mas com largura pouco maior que a parede a elevar, [37].

As escadas interiores são realizadas em madeira, assentes numa estrutura simples de vigas que se apoiam no mesmo plano. No exterior existe uma escadaria em alvenaria de pedra (Figura 4.1b)), [37].

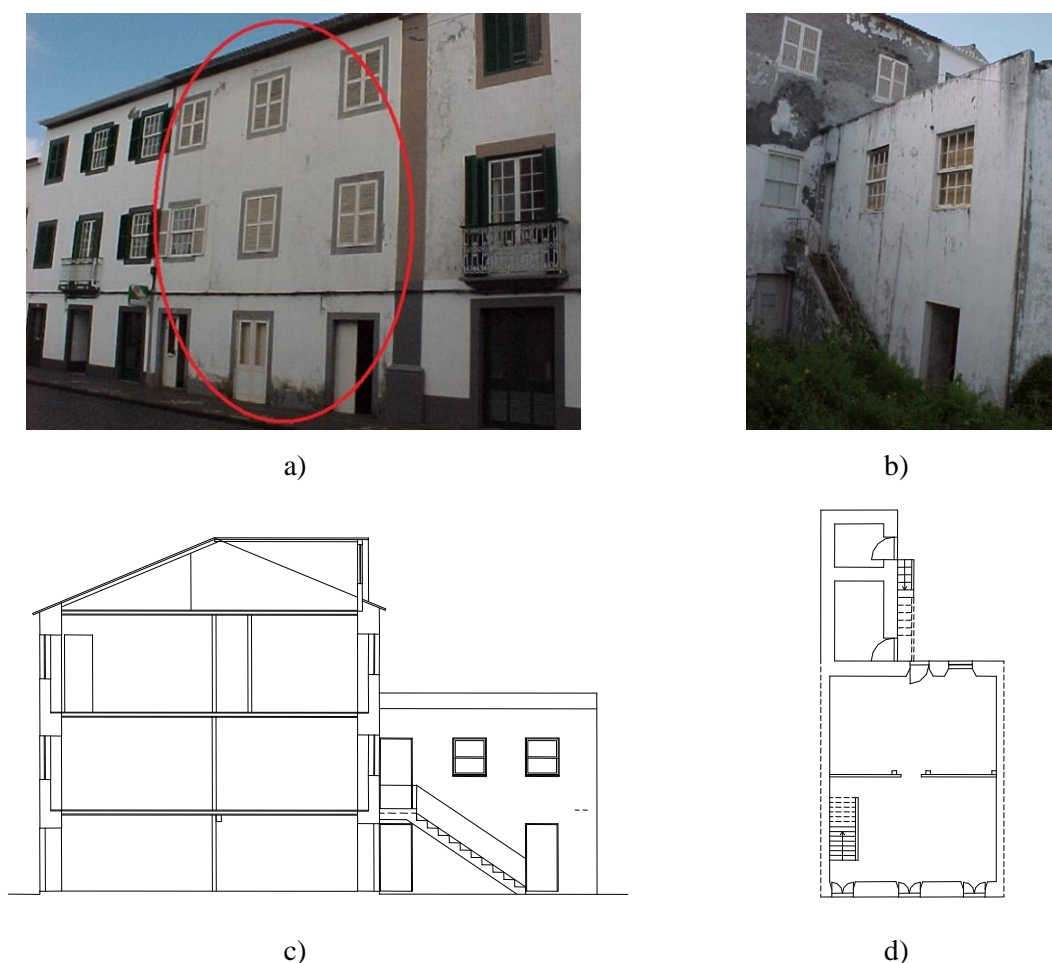


Figura 4. 1 Casa nº 35 Rua Serpa Pinto: a) Alçado principal; b) Prolongamento nas traseiras; c) Corte; d) Planta, [37].

-Casa nº 31

O edifício situa-se na Portela, nº 31, na freguesia da Feteira, e está implantado em terreno com declive, com execução de uma plataforma plana em aterro.

A geometria de implantação em torno dos eixos ortogonais é simétrica com pequena reentrância longitudinal. Esta reentrância é devida a uma ampliação posterior, Figura 4.2a) e Figura 4.2b), com vista na melhoria da habitabilidade, com inclusão de sanitários de serventia.

O edifício apresenta uma geometria em planta rectangular (Figura 4.2c)) e a distribuição dos elementos resistentes exteriores é uniforme, não apresenta desníveis significativos na sua construção e é um edifício isolado com apenas um piso de habitação, [37].

Este apresenta paredes exteriores com abertura no alçado principal, Figura 4.2a). As empenas laterais e o alçado anterior são paredes cegas. A nível interior, as paredes divisórias são em tabique sem qualquer função resistente, sendo a sua distribuição regular e uniforme. Sendo o mesmo só constituído por um piso, o rés-do-chão, dotado de dois quartos, uma sala, cozinha e sanitários de serventia, [37].

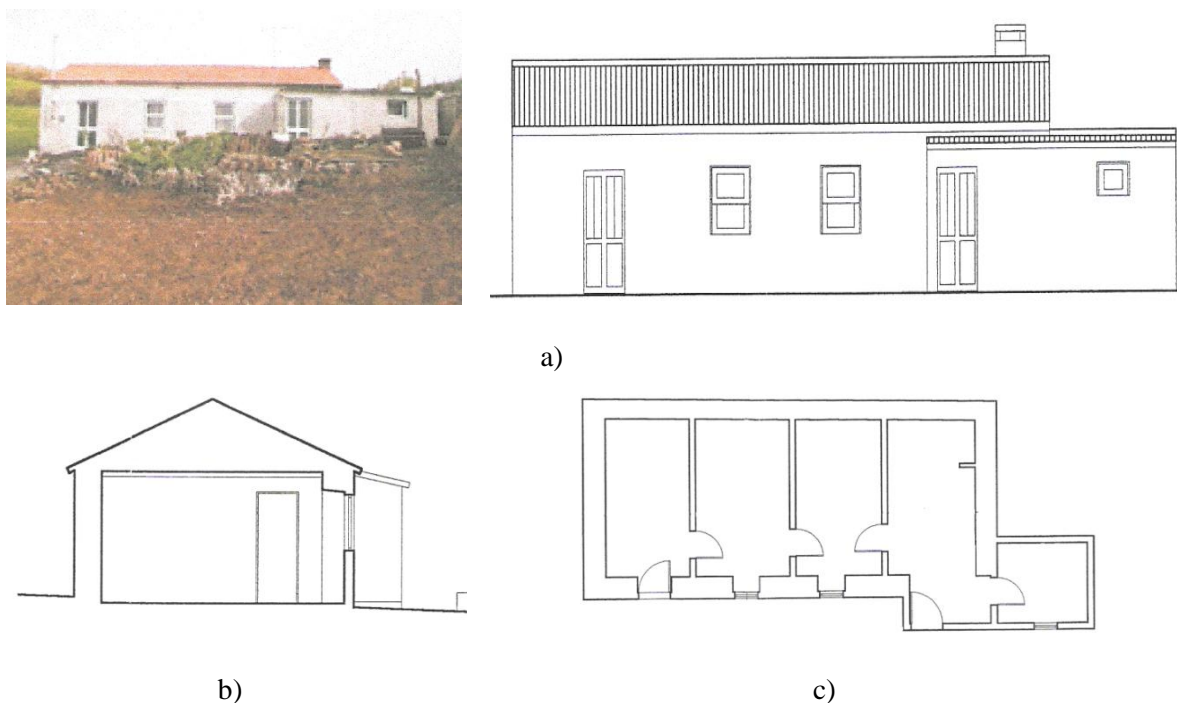


Figura 4. 2 Casa nº31, Portela – Feiteira, a) Alçado principal; b) Corte; c) Planta, [37].

Relativamente aos materiais utilizados na construção do edifício, as paredes exteriores são em alvenaria de pedra irregular e a ampliação em bloco de cimento. A cobertura é constituída por barrotes e varas de madeira onde assentam o forro e as telhas de canudo, [37].

4.3 Acções consideradas no estudo

4.3.1- Gerais

Neste trabalho foi analisada a acção do sismo nas respectivas casas e os seus efeitos. A análise foi feita para estado limite último, sendo a combinação correspondente $1,0 \times G + 0,2 \times Q + 1,5 \times S$.

4.3.2 - Acções verticais

As acções verticais consideradas para a análise dinâmica dos edifícios são as apresentadas na Tabela 4.1.

Tabela 4. 1 Acções consideradas, [37], [41].

Acções	KN/m²
Peso da alvenaria de pedra	18
Peso bloco de cimento	13
Peso da madeira	2,7
Cargas permanentes	
Cobertura	0,58
Escadas	0,076
Paredes interiores	0,087
Sobrecargas	
Cobertura	0,3
Pisos	2
Escadas	3

4.3.3- Acção do sismo

A acção do sismo resulta de um conjunto de vibrações do solo que são transmitidas à estrutura aquando a ocorrência do mesmo, [39]. Deste modo, é benéfico que uma análise

sísmica seja realizada com base na respectiva acção. Assim, visto que construções consideradas foram afectadas pelo sismo de 9 de Julho de 1998, a análise será feita com base em registos obtidos na ilha do Faial, permitindo deste modo, uma análise mais realista dos efeitos verificados nas construções.

Como já referido em capítulos anteriores (capítulo2), o sismo com epicentro a cerca de 16 km NNE da cidade da Horta, na ilha do Faial, a Norte do canal que separa esta ilha da do Pico, teve origem numa falha tectónica, com uma magnitude m_d próxima de 6.0 na escala de Richter e apresentando um foco a uma profundidade de 5 a 10 km, ([17] e [18] citados por [19]).

Na Figura 4.3 está representada a carta de intensidades, resultante da reinterpretação feita, [39].

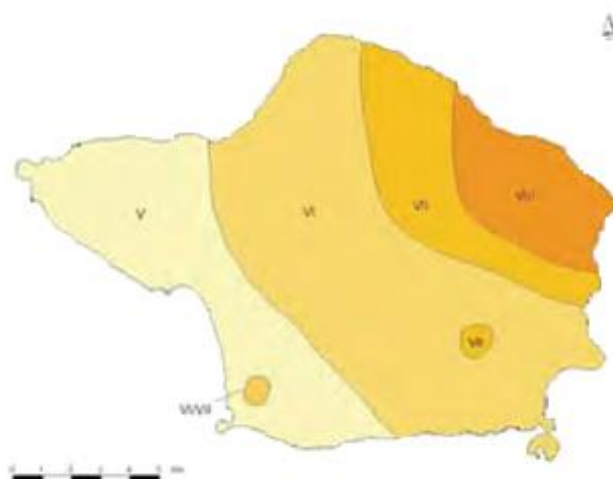


Figura 4. 3 Carta de isossistas da ilha do Faial [39].

A acção sísmica considerada é caracterizada pelos acelerogramas registados a 9 de Julho de 1998 ao nível das fundações do Observatório Príncipe de Mónaco, situado na cidade da Horta, ilha do Faial, [40]. Foram consideradas as três direcções principais do sismo (duas componentes horizontais e uma componente vertical), a direcção do xx que é considerada transversal aos edifícios, a direcção yy que corresponde à longitudinal dos edifícios e a direcção zz que está associada à componente vertical (Figura 4.4). Na análise realizada foram consideradas as três componentes do sismo a actuar em simultâneo.

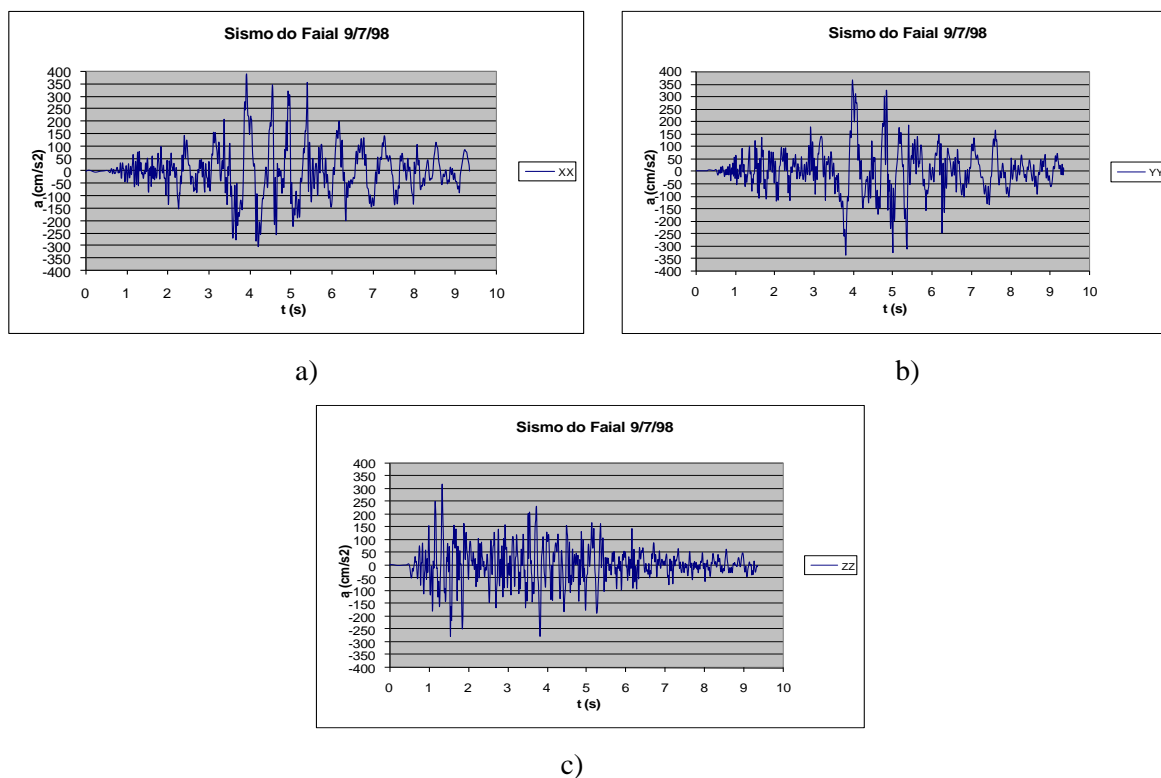


Figura 4. 4 Acelerogramas das várias componentes do sismo de 1998:

a) Componente XX; b) Componente YY; c) Componente ZZ, [5].

Outro aspecto de grande relevo para a estabilidade dos edifícios é a caracterização da actividade sísmica na zona. Assim, segundo o Regulamento de Segurança e Acções (RSA), para efeitos de quantificação da acção de sismos são consideradas zonas, sendo o arquipélago dos Açores incluído na Zona A, com excepção da ilha das Flores e Corvo [41].

A influencia da sismicidade é assim traduzida por um coeficiente de sismicidade, α , estando estes valores apresentados na Tabela 4.2, [41]. A ilha do Faial apresenta deste modo, $\alpha=1.0$ e um terreno do tipo I.

Tabela 4. 2 Valores do coeficiente de sismicidade, [41].

Zona Sísmica	α
A	1,0
B	0,7
C	0,5
D	0,3

4.4 Análise numérica modal do edifício nº 35

4.4.1- Considerações para a análise

O edifício nº 35 na rua Serpa Pinto trata-se de um edifício urbano, composto por paredes de alvenaria de pedra e pavimento de soalho sobre barrotes principais e secundários ligados às paredes.

Recorrendo a resultados de ensaios efectuados obtiveram-se as principais propriedades físicas e mecânicas dos materiais, apresentadas na Tabela 4.3. De acordo com o respectivo projecto, os elementos estruturais apresentam as dimensões especificadas na Tabela 4.4.

Tabela 4. 3 Edifício nº 35- Propriedades dos materiais, [5].

Elemento	Material	ρ (ton/m ³)	E (Gpa)	ν
Paredes	Alvenaria de pedra	1.8	0.2	0.2
	Tabique resistente	1.35	0.1	0.2
Barrotes	Madeira	0.27	3.8	0.2

Tabela 4. 4 Dimensões dos respectivos elementos, [37].

Elemento	Dimensões (cm)		
	b	h	e
Cobertura			
Varas	7,5	12	
Cumeeira	7,0	15	
Frechal	7,0	25	
Barrotes	7,5	12	
Forro			1,0
Pavimento			
Barrotes	7,0	17	
Soalho			2,2
Escadas			
Vigas	7,0	17	

A análise numérica foi efectuada através da modelação tridimensional, recorrendo ao programa SAP2000. Deste modo, a estrutura do edifício foi modelada considerando-se elementos de casca para modelar as paredes e soalho, e elementos de barra para modelar os barrotes, vigas e varas de madeira.

Primeiramente o modelo foi desenvolvido em AutoCad2008, sendo neste criada a malha das paredes e soalho, com o comando “3dface” e posteriormente, foi necessário gravar os respectivos elementos em formato *.dxf, para assim, se poder exportar para o SAP2000.

No SAP2000 foram então atribuídas todas as propriedades e dimensões aos materiais correspondentes e simuladas as respectivas ligações. Neste tipo de edifícios é frequente não existir ligação entre as paredes e os barrotes, encontrando-se estes apenas pousados ou encaixados na parede, funcionando assim apenas à compressão. Deste modo, tentou-se representar esse tipo de ligação, recorrendo no SAP2000 à aplicação de um link do tipo “GAP”, que quando comprimido contraria o movimento da parede para dentro do edifício, mas quando traccionado não faz qualquer impedimento ao deslocamento da parede para fora. O mesmo tipo de ligação foi admitido para as vigas das escadas, na ligação à parede interior e para as varas da cobertura.

Relativamente às escadas exteriores junto ao anexo, as quais são visíveis na Figura 4.1b) e Figura 4.1d) apresentada acima, foi feita uma simplificação. Sendo estas em alvenaria de pedra, provocando um aumento da rigidez naquela zona, optou-se por simular o seu efeito, colocando em cada ponto correspondente à ligação destas um apoio, de modo a impedir o deslocamento da parede para fora do seu plano.

Respeitante às ligações do edifício ao solo, foram colocados apoios que impedem os três deslocamentos e uma rotação.

É importante referir que, o edifício em estudo se encontra inserido num agregado de edifícios, como descrito, porém por questões de simplificação do modelo de cálculo o edifício foi modelado sem ter em conta os efeitos das construções vizinhas. Este efeito pode ser benéfico ou não, pois por um lado diminuiu os comprimentos das paredes tornando-as mais resistentes, mas por outro origina descontinuidades que se traduzem em concentrações indesejáveis de esforços, [5].

4.4.2 - Resultados obtidos

O estudo da resposta dinâmica de uma estrutura é facilmente realizado pela análise do seu comportamento oscilatório, a partir dos seus modos de vibração, em que cada modo representa a configuração deformada da estrutura. Assim, os modos de vibração correspondem a uma forma de decomposição da vibração das estruturas, sendo característica própria de cada estrutura. Em geral as estruturas têm o mesmo número de modos de vibração que graus de liberdade, [42].

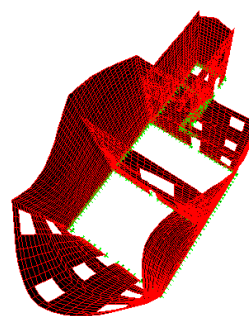
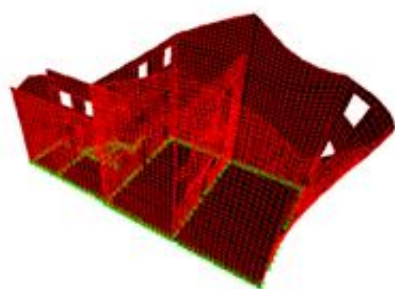
Seguidamente, na Figura 4.5 são então apresentados os três primeiros modos de vibração e as respectivas frequências verificados no edifício nº 35. Pela sua análise verifica-se que o edifício apresenta frequências bastante baixas de 1,50 Hz a 1,84 Hz e consequentemente uma baixa rigidez. Verifica-se igualmente que as paredes funcionam isoladamente, não apresentando o edifício um funcionamento em conjunto.

O 1º modo, também designado por modo fundamental, corresponde à frequência de vibração mais baixa (frequência fundamental), ou alternativamente, o período de vibração mais alto. Deste modo, a resposta dinâmica das estruturas é estimada a partir da sobreposição dos primeiros modos de vibração, pois, estes têm uma contribuição mais significativa para a resposta dinâmica da estrutura.

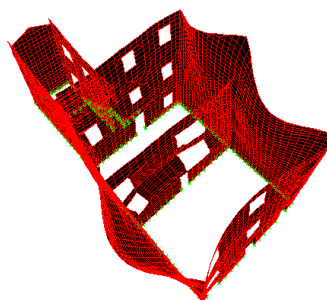
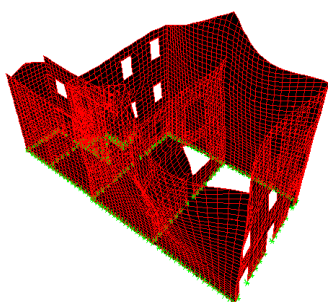
Assim, comparando os primeiros modos de vibração, verifica-se que o 1º modo correspondente a uma solicitação da estrutura na direcção longitudinal do edifício (direcção yy), apresenta frequência relativamente menor que o 2º modo, respeitante a uma solicitação transversal (direcção xx). Esta diferença é resultado de na direcção xx existirem paredes interiores que encurtam o comprimento das paredes laterais, proporcionando um aumento da rigidez global da estrutura.

Pela análise do modo nº3 pode-se verificar que os pavimentos superiores não apresentam rigidez no seu plano e que a parede interior de tabique também possui uma baixa rigidez.

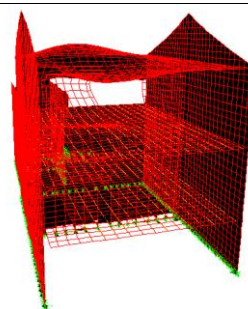
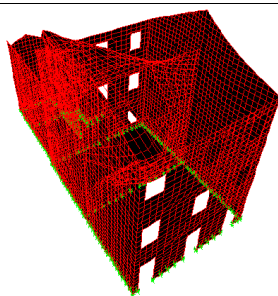
É ainda importante salientar que, o deficiente travamento das paredes, devido a uma má ligação dos pavimentos poderá ser causador de graves patologias neste tipo de estruturas, tornando as paredes resistentes mais vulneráveis, apresentando assim, frequências mais baixas.



a) Modo nº 1 – $f = 1,50$ Hz



b) Modo nº 2 – $f = 1,63$ Hz



c) Modo nº 3 – $f = 1,84$ Hz

Figura 4. 5 Edifício nº 35, comportamento estrutural antes do reforço.

4.5 Reforço do edifício nº 35

Em resposta aos danos observados, foi necessário proceder à recuperação do edifício e ao seu respectivo reforço. Deste modo, foram apresentadas pelo gabinete responsável várias soluções, que passavam por uma intervenção em paredes de alvenaria, pavimentos e cobertura. Estas são expostas de seguida, [37].

No que respeita às paredes exteriores de alvenaria de pedra, o seu reforço passou por inclusão de rede metálica no reboco. Para tal, as paredes foram devidamente picadas nas

duas faces, com limpeza a jacto de água antes da aplicação de argamassas. Nos casos em que a alvenaria era aberta, ou que permitia o escoamento, foi vertido uma leitada de cimento e cinzas vulcânicas. Assim, o reforço destas paredes consistia no refechamento de juntas e reboco de regularização, na aplicação da rede metálica tipo “placner”, e posterior reboco de recobrimento com acabamento areado para receber a pintura final.

As paredes livres e paralelas às vigas de pavimento e tirantes da cobertura foram travadas pela construção que se pode visualizar na Figura 4.6. As diagonais aplicadas a nível do pavimento são igualmente em madeira e com as dimensões dos barrotes. Foi ainda aplicado um tirante em aço ao nível do primeiro e segundo piso, de modo a impedir o deslocamento das paredes para o exterior.

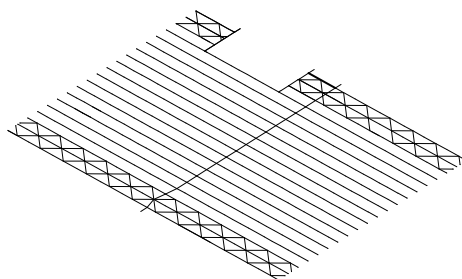


Figura 4. 6 Travamento das paredes livres, [37].

Os pavimentos foram mantidos no seu essencial, com substituição apenas dos elementos estruturais e soalho que se encontrassem deteriorados. No segundo andar foi executada uma lajeta de micro - betão no canto direito das traseiras do edifício, com um desenvolvimento de 3.4 m e uma largura de 1.74 m, Figura 4.7. As ligações das vigas de madeira às paredes resistentes que as apoiam foram reforçadas por introdução de um perfil em chapa quinada, [37].

As vigas de madeira que apoiam na divisória deverão garantir a continuidade, para tal efectuou-se a ligação aplicando chapas metálicas.

A nível da cobertura, foram substituídos todos os elementos deteriorados, com atenção aos frechais e zonas de apoio nas paredes de alvenaria. As ligações dos tirantes às paredes de alvenaria foram melhoradas pela aplicação de cantoneira em chapa quinada. Toda a área da cobertura foi revestida por uma lajeta sobre rede placner, [37].

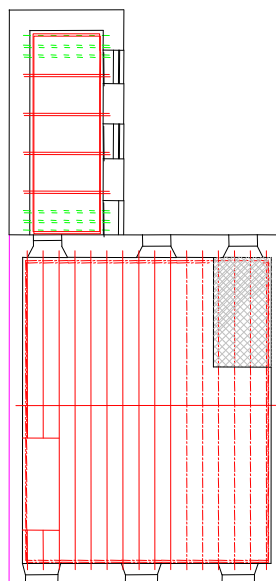


Figura 4. 7 Lajeta de micro-betão, [37].

4.5.1 - Considerações para a análise depois do reforço

Visto que na generalidade os elementos estruturais do edifício são mantidos, efectuando-se apenas o seu reforço, as dimensões dos vários elementos não sofrem alterações geométricas, encontrando-se estas já referidas na Tabela 4.4.

A nível das propriedades dos materiais, há uma variação no módulo de elasticidade (E), das paredes de alvenaria, visto que estas foram reforçadas com reboco armado, sendo o valor correspondente determinado por ensaios.

As propriedades respeitantes a cada material estão mencionadas na Tabela 4.5.

Tabela 4. 5 Propriedades dos materiais constituintes do reforço, [5], [43].

Elemento	Material	ρ (ton/m ³)	E (Gpa)	ν
Paredes	Alvenaria de pedra	1.8	0.4	0.2
	Tabique resistente	1.35	0.1	0.2
Barrotes	Madeira	0.27	3.8	0.2
Lajeta	Micro-betão	1.7	14	0.2
Varões	Aço	7.69	210	0.3

Relativamente à modelação, esta foi efectuada da forma descrita para o edifício sem reforço, efectuando-se apenas algumas alterações, de modo a simular o reforço. Estas

foram igualmente desenvolvidas no AutoCad2008 e posteriormente exportados os vários elementos para o SAP2000.

No que respeita às ligações de alguns elementos às paredes de alvenaria, os reforços correspondentes foram simulados com uma ligação continua. Foi feito o mesmo para as vigas que apoiavam na divisória, admitindo deste modo, a continuidade da viga como era pretendido.

4.5.2 - Resultados obtidos

Perante o reforço realizado torna-se fundamental analisar qual a resposta dinâmica apresentada pelo edifício face a um sismo com a mesma intensidade do 9 de Julho de 1998, para assim, compreender o respectivo funcionamento do reforço e qual o seu benefício para o comportamento do edifício. Para tal foram analisados três modos de vibração, Figura 4.8, representando cada modo a configuração da deformada da estrutura.

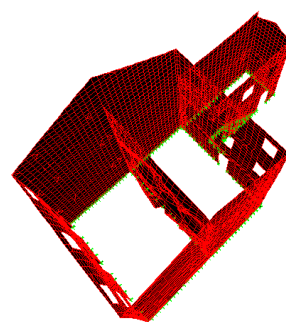
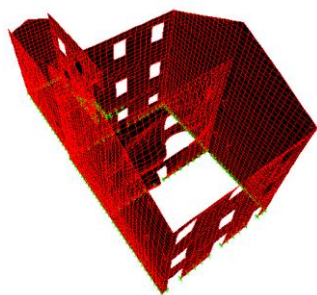
Os modos de vibração apresentados na Figura 4.8 representam a configuração da deformada após o reforço correspondente à mesma configuração que foi verificada antes do reforço e já apresentados na Figura 4.5. Assim, após o reforço o primeiro modo passou a ser o correspondente à parede interior, que antes do reforço se tratava do terceiro. Por sua vez o primeiro antes do reforço passou a corresponder ao décimo segundo depois do reforço e o segundo antes do reforço ao terceiro depois deste.

Examinando os vários modos de vibração e as frequências relativas a cada um, verifica-se que depois do reforço a parede da fachada sofreu um grande aumento da rigidez, aumentando para mais do dobro do valor inicial, (modo nº 12). Na direcção transversal do edifício, direcção xx, também se verificou um aumento da frequência e consequentemente da sua rigidez, mas no entanto, este aumento não foi tão elevado como no caso da parede da fachada.

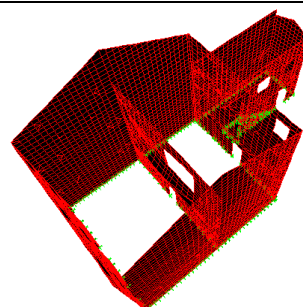
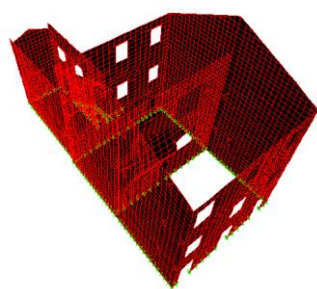
Com o reforço foi igualmente possível verificar que o primeiro modo é traduzido agora pelos movimentos da parede interior. Assim, embora tenha existido um ligeiro aumento da rigidez deste elemento com o reforço, esta parede continua a apresentar uma rigidez baixa. Contudo, é importante salientar que esta baixa rigidez é referente a uma zona da parede entre duas descontinuidades. Sendo o tabique um material que apresenta baixa rigidez e encontrando-se esta zona da parede entre duas aberturas significativas, era de

esperar que a parede apresente-se uma baixa rigidez, como se pode verificar na Figura 4.8c).

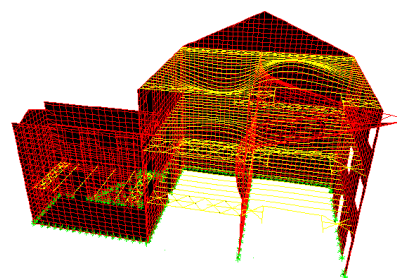
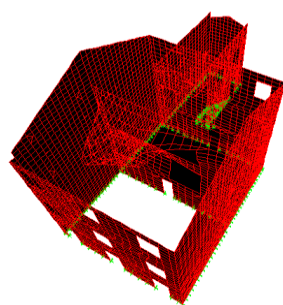
Outra verificação que foi possível retirar da análise efectuada foi que o edifício passou a apresentar um comportamento em conjunto após o reforço, o que não era verificado antes deste.



a) Modo nº12- $f=4,12$ Hz



b) Modo nº3- $f=2,43$ Hz



c) Modo nº 1- $f=2,13$ Hz

Figura 4. 8 Edifício nº 35, comportamento estrutural depois do reforço.

4.5.3- Influência da consolidação das paredes no comportamento do edifício quando sujeito a um sismo

Anteriormente verificou-se que reforçando um edifício, a sua rigidez aumenta e consequentemente a sua frequência (f) também aumenta, diminuindo o respectivo período (T).

No capítulo anterior, (capítulo 3), verificou-se que o reforço baseado na consolidação de paredes resistentes com reboco armado era uma técnica bastante usada, sendo utilizada na maioria dos edifícios. Uma vez que também no edifício em estudo se utilizou a referida técnica, optou-se então por analisar a sua influência.

Deste modo, efectuou-se apenas o reforço das paredes de alvenaria através da sua consolidação com reboco armado, aumentando-se o seu módulo de elasticidade (E). As frequências obtidas são apresentadas na Tabela 4.6.

Na Tabela 4.7 encontram-se as frequências observadas antes do reforço, para que se possa realizar uma comparação.

Tabela 4. 6 Frequências observadas no edifício com reboco armado.

Com reboco armado			
	Modo 2	Modo 3	Modo 1
Frequências (Hz)	2,03	2,06	1,85

Tabela 4. 7 Frequências antes do reforço.

Antes do reforço			
	Modo 1	Modo 2	Modo 3
Frequências (Hz)	1,5	1,63	1,84

Equiparando os valores das duas tabelas, verifica-se que o reforço apenas com reboco armado aumentou as frequências em média 20,7 %, ou seja, a rigidez do edifício apresentou um aumento apenas com aplicação do reboco armado.

Para além desta análise, verificou-se também que apenas com a aplicação de reboco armado houve uma alteração dos modos iniciais, pois o primeiro modo que anteriormente

era correspondente à parede da fachada, após o reforço passou a corresponder ao segundo modo, sendo agora o primeiro modo traduzido pelo movimento da parede interior. O segundo modo que correspondia antes do reforço ao movimento das empenas passou a ser o terceiro modo depois do reforço.

O valor do módulo de elasticidade das paredes apresenta assim, uma grande influência nas frequências das estruturas.

Deste modo, poderá considerar-se que o reboco armado apresenta uma importância significativa para a rigidez do edifício e para o seu comportamento face a um sismo, sendo uma técnica essencial sempre que se pretenda reforçar um edifício, para um melhor comportamento ao sismo.

Porém, o facto de esta técnica apresentar uma determinada relevância no reforço dos edifícios, não desvaloriza as outras técnicas utilizadas, uma vez que, boas ligações do pavimento e cobertura às paredes resistentes de alvenaria e um travamento destas são também técnicas, essenciais para o funcionamento em conjunto do edifício e um aumento da sua rigidez.

4.6 Análise numérica modal do edifício nº 31

4.6.1- Considerações para a análise

O edifício nº 31 na freguesia da Feteira trata-se de um edifício rural, com paredes exteriores em alvenaria de pedra irregular, apresentando uma ampliação em bloco de cimento. É um edifício térreo e a cobertura é constituída por vigas e varas de madeira, nas quais assentam o forro e as telhas de canudo, [37].

Segundo o respectivo projecto, as dimensões dos elementos estruturais da cobertura são as especificadas na Tabela 4.8. O peso das telhas foi calculado, sendo considerada uma carga permanente de 0,58 KN.

As dimensões das paredes foram as discriminadas no projecto de arquitectura, 60 cm a espessura das paredes de alvenaria de pedra, e 15 cm a espessura das paredes de bloco de cimento.

As sobrecargas consideradas para este edifício foram as especificadas na Tabela 4.1.

De acordo com ensaios realizados e com auxílio das Tabelas Técnicas, definiram-se as propriedades dos materiais envolventes, Tabela 4.9.

Tabela 4. 8 Dimensão dos elementos constituintes da cobertura, [37].

Elemento	Dimensões (cm)		
	b	h	e
Cobertura			
Varas	7.0	17	
Cumeeira	20	25	
Frechal	10	20	
Forro			1,0

Tabela 4. 9 Propriedades dos materiais, [5], [43].

Elemento	Material	ρ (ton/m ³)	E (Gpa)	ν
Paredes	Alvenaria de pedra	1.8	0.2	0.2
	Alvenaria de bloco	1.3	5.0	0.2
Elementos da cobertura	Madeira	0.27	3.8	0.2

A análise numérica foi realizada através da modelação tridimensional, com recurso ao programa SAP2000, tal como no edifício 35, utilizando-se elementos de casca para modelar as paredes e forro da cobertura e elementos de barra para modelar as vigas, varas, cumeeira e frechal.

Assim, a estrutura foi modelada inicialmente em AutoCad2008, onde foi criada a respectiva malha das paredes e cobertura, com auxílio do comando “3dface”, gravando-se seguidamente os vários elementos em formato *.dxf, de modo a posteriormente, se exportar os mesmos para o SAP2000.

No SAP2000 atribuíram-se as propriedades e dimensões aos materiais correspondentes e simularam-se as várias ligações. Nas ligações acontece a mesma situação do edifício nº 35, não se verifica ligações entre as paredes e as vigas da cobertura, apresentando-se estas apenas pousadas, funcionando somente à compressão. Deste modo, a representação da ligação foi igual à utilizada no edifício nº 35, recorrendo-se no SAP2000 à aplicação de um link do tipo “GAP”.

Ainda na cobertura, foi assumida a ligação das varas à cumeeira como rotulada, uma vez que na realidade não existia uma ligação eficiente entre estes dois elementos.

4.6.2- Resultados obtidos

De modo a compreender a resposta dinâmica do edifício quando solicitado pelo sismo de 9 de Julho de 1998, analisou-se o comportamento oscilatório do mesmo, a partir dos seus modos de vibração. Estes encontram-se apresentados na Figura 4.9 e na Figura 4.10, assim como as frequências correspondentes.

Assim, observando-se os vários modos de vibração, verifica-se que as várias frequências encontram-se acima dos 5 Hz.

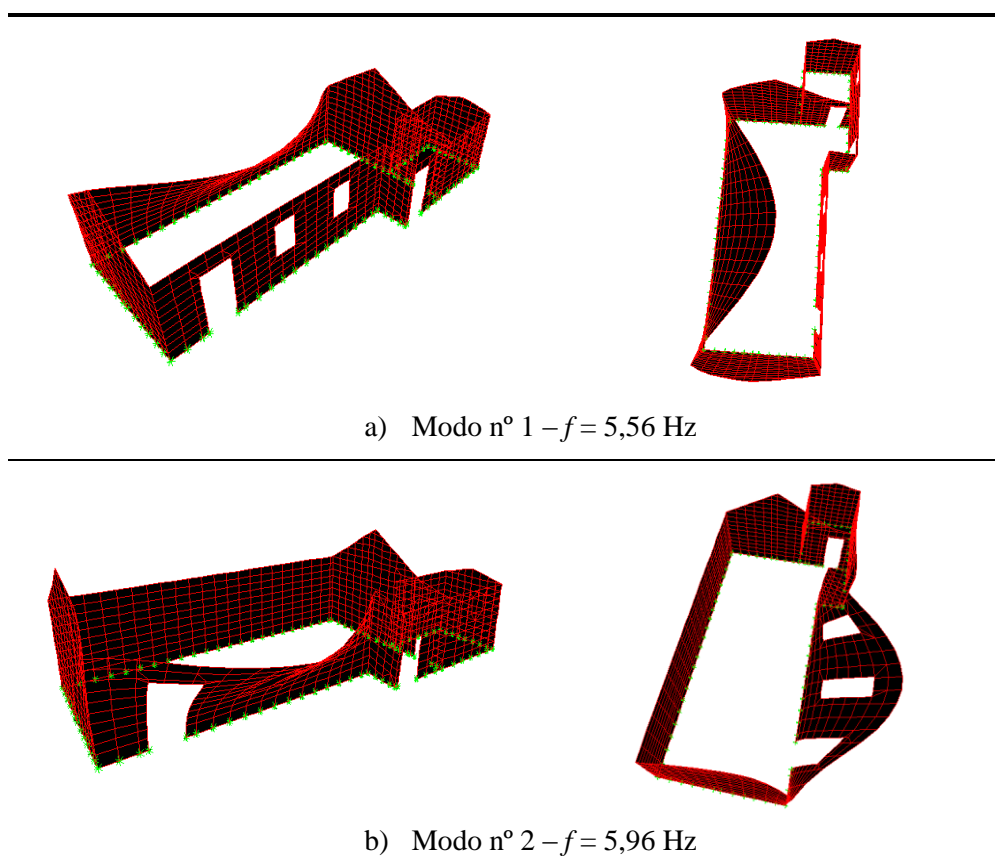


Figura 4. 9 Edifício nº 31, comportamento estrutural antes do reforço, 1º Modo e 2º Modo.

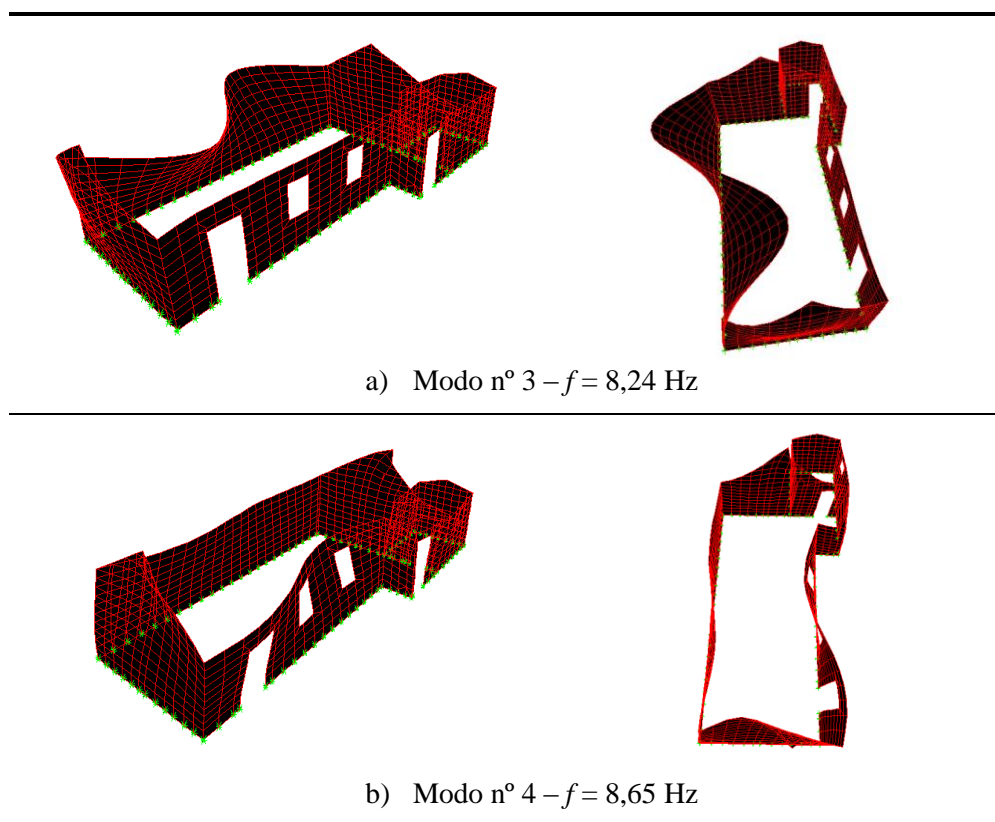


Figura 4. 10 Edifício nº 31, comportamento estrutural antes do reforço, 3º Modo e 4º Modo.

Analisando os modos principais (primeiros modos), constata-se que a deformação ocorre em paredes isoladamente, estando assim, o 1º e 3º modo relacionados com a parede traseira e o 2º e 4º modo com a parede de fachada, que devido ao seu elevado desenvolvimento tornam-se estruturas com uma rigidez fora do seu plano relativamente baixa.

No que respeita à consolidação das paredes, verificou-se também no presente edifício, que este tipo de reforço contribuía em média 18,6 % para a rigidez do mesmo, o que vem mais uma vez comprovar sua importância.

4.7 Reforço do edifício nº 31

Face aos danos observados, tornou-se necessário proceder à sua recuperação e ao seu reforço. Assim, o gabinete responsável propôs algumas soluções de reforço e uma alteração da compartimentação interior, de modo a atingir uma melhor funcionalidade do espaço interior.

As respectivas soluções de recuperação e reforço apresentadas foram as apresentadas de seguida, [37].

Nas paredes exteriores de alvenaria de pedra, o reforço passava por inclusão de rede metálica no reboco. Para tal, as paredes foram devidamente picadas nas duas faces com limpeza a jacto de água antes da aplicação de argamassas. O reforço destas consistia no refechamento de juntas e reboco de regularização, na aplicação da rede metálica e posterior reboco de recobrimento.

O anexo em alvenaria de bloco foi demolido, efectuando-se uma ampliação em tijolo de betão armado nas traseiras do edifício, como é possível visualizar na Figura 4.11. Na mesma figura é ainda possível verificar a construção de montantes em dois cantos desta ampliação.

A nível do coroamento das paredes foram executadas cintas de solidarização em betão armado, de modo a que o edifício funcione em conjunto e não paredes isoladamente. O gabinete responsável teve o cuidado de executar a ligação da cobertura a estas, como é possível observar na Figura 4.12, [37].

Ainda respeitante à cobertura, foram reforçadas as asnas pela aplicação de duas chapas metálicas, Figura 4.13.

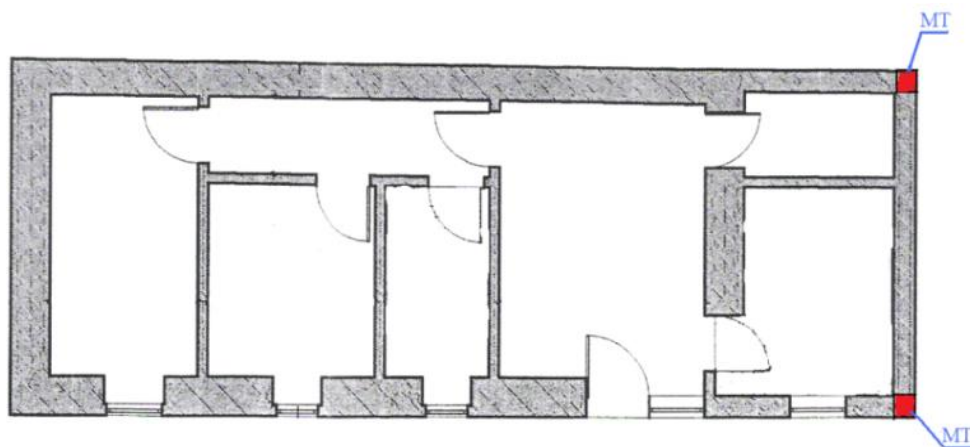


Figura 4. 11 Ampliação do edifício nº 31 e execução de montantes, [37].

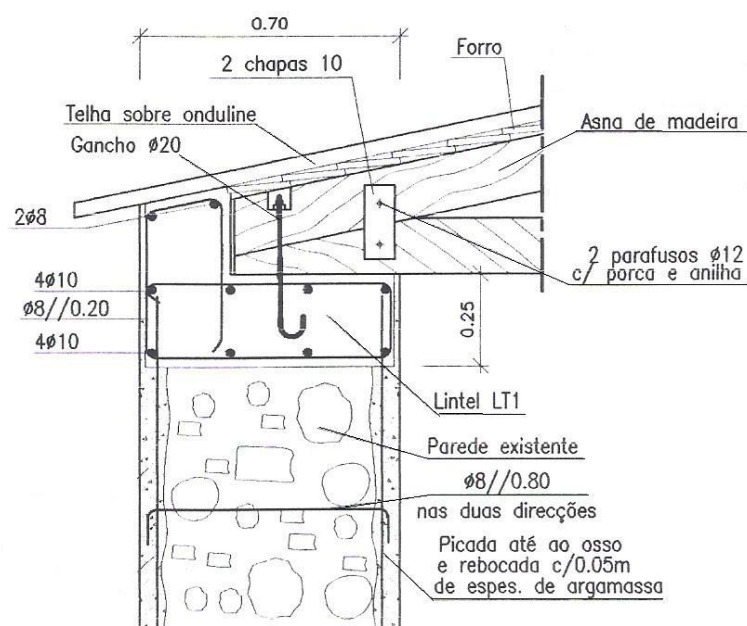


Figura 4. 12 Execução de cinta de coroamento e ligação da cobertura, [37].

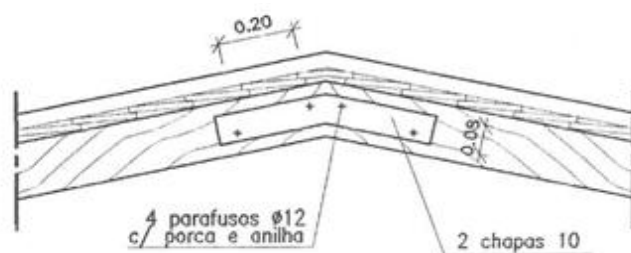


Figura 4. 13 Reforço das asnas através de chapas metálicas, [37].

4.7.1 - Considerações para a análise depois do reforço

Tal como no edifício estudado anteriormente, os elementos estruturais na sua maioria são mantidos, efectuando-se apenas o seu reforço, sendo assim, mantidas as suas dimensões, já dispostas na Tabela 4.8.

Em relação às propriedades dos materiais, há uma variação no módulo de elasticidade (E) das paredes de alvenaria, visto que estas foram reforçadas com reboco armado, sendo este valor determinado por ensaios, Tabela 4.10.

Tabela 4. 10 Propriedades dos materiais, [5], [43].

Elemento	Material	ρ (ton/m ³)	E (Gpa)	ν
Paredes	Alvenaria de pedra	1.8	0.4	0.2
Cintas	Betão armado	2.5	14	0.2
Barrotes	Madeira	0.27	3.8	0.2

A modelação foi realizada da forma descrita anteriormente, no caso sem reforço, sendo apenas efectuadas as alterações respeitantes ao reforço. Os montantes foram modelados utilizando elementos de barra e as cintas de betão armado utilizando elementos de casca, com a altura correspondente, Figura 4.14.

Relativamente às ligações dos elementos da cobertura às cintas de betão armado, os reforços correspondentes foram simulados com uma ligação contínua, ficando assim, toda a cobertura ligada às paredes de alvenaria. Da mesma forma, simulou-se o reforço das asnas passando de uma ligação rotulada a uma ligação contínua.

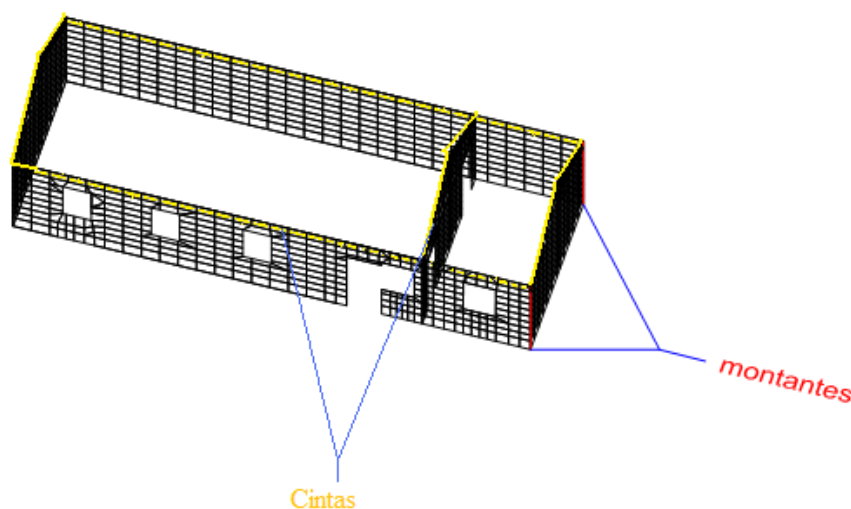


Figura 4. 14 Reforço com cintas e montantes.

4.7.2- Resultados obtidos

Realizado o reforço correspondente, torna-se então importante verificar o funcionamento do mesmo, compreender a sua colaboração para o bom funcionamento do edifício em questão, e o comportamento do edifício quando sujeito a um sismo com a mesma intensidade do 9 de Julho de 1998.

Assim, para um conhecimento destes aspectos, estão apresentados na Figura 4.15 e na Figura 4.16 os modos de vibração do edifício após o seu reforço.

Da análise dos resultados modais observa-se um aumento significativo das frequências da estrutura com o reforço, praticamente para o dobro, havendo um aumento da rigidez, e uma diminuição do período, o que era esperado face ao reforço efectuado.

Analisando os primeiros modos, observa-se que a zona da ampliação apresenta uma maior rigidez que o restante edifício, estando esta relacionada com o menor desenvolvimento das paredes, sendo estas mais curtas, e com o seu travamento através das cintas na periferia.

Verifica-se também que as paredes do edifício funcionam em conjunto, ao contrário do que se verificava antes do reforço em que havia uma tendência das paredes a funcionarem isoladamente.

Da análise efectuada torna-se importante realçar dois aspectos: o primeiro é de que o reforço se mostrou adequado já que aumentou bastante a frequência fundamental do edifício afastando-a da frequência predominante do sismo, melhorando assim o seu comportamento; o segundo é o de que o reforço seria muito mais efectivo se passasse pela ligação das paredes interiores à parede exterior diminuindo o comprimento destas e portanto eliminando o comportamento para fora do plano das mesmas.

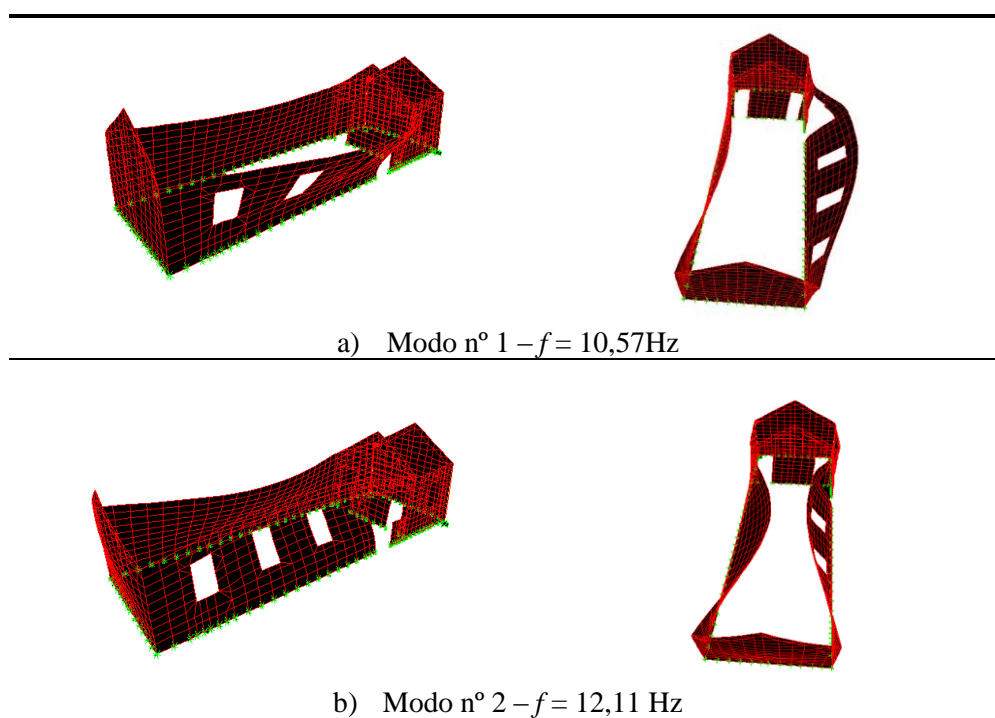


Figura 4. 15 Edifício nº 31, comportamento estrutural após o reforço, 1º Modo e 2º Modo.

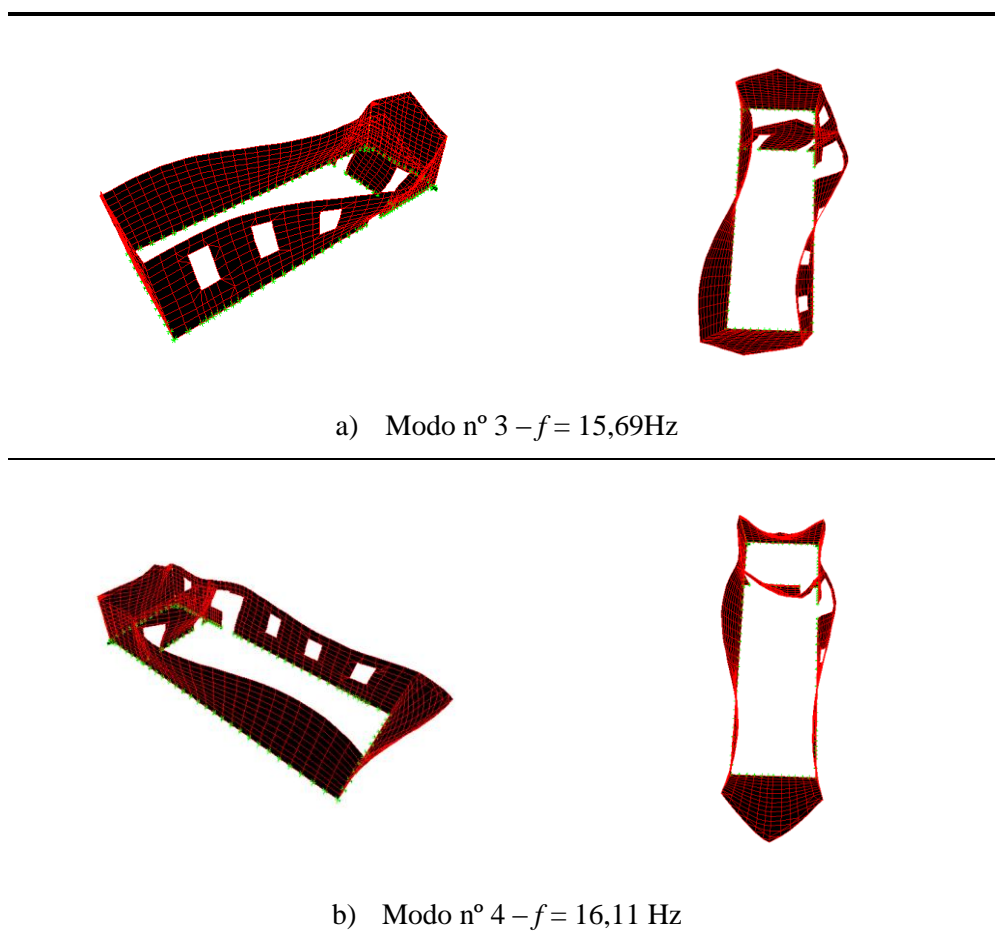


Figura 4. 16 Edifício nº 31, comportamento estrutural após o reforço, 3º Modo e 4º Modo.

4.8 Análise de tensões

A avaliação das tensões principais tem bastante importância na análise sísmica, uma vez que permitem por um lado avaliar as tensões máximas instaladas e por outro lado compreender qual o “caminho das forças”, permitindo deste modo, avaliar a direcção das fendas em cada local, [5].

Seguidamente, são apresentadas para cada edifício as tensões de compressão e as tensões de tracção máximas devido à acção do sismo, antes e depois do reforço.

Pela análise da Figura 4.17a), verifica-se que as tensões de tracção, no edifício nº 35, concentram-se no topo das paredes, nos cunhais e em torno dos vãos das aberturas, este último resultado da migração dos esforços para os painéis laterais das aberturas. Verifica-se também uma concentração de tensões de tracção na zona de ligação da parede interior às

paredes exteriores. A nível dos topos das paredes nos cantos, é onde se observa o maior valor de tensões de tracção, entre os 3 Mpa e os 4 Mpa.

Após o reforço (Figura 4.18a)), verifica-se uma diminuição das tensões de tracção, tanto ao nível do topo das paredes como em torno dos vãos das aberturas. Porém, na zona de ligação da parede interior à parede exterior, continua a existir uma concentração de tensões, embora mais baixas que antes do reforço.

Ao analisar as tensões de compressão nas paredes antes do reforço (Figura 4.17b)), verifica-se que estas se concentram na base do edifício, resultado do peso próprio das respectivas paredes, uma vez que os pavimentos apresentam pouca densidade. Observa-se também uma concentração junto às aberturas, sendo estas, pontos frágeis. Após o reforço observa-se um ligeiro aumento destas tensões ao nível da base do edifício, isto devido ao aumento do peso próprio do edifício pela aplicação do reforço. Na Figura 4.18b), pode ainda verificar-se na empena, dois pontos que apresentam um elevado valor de tensão de compressão, entre os 2,77 Mpa e os 3 Mpa. Estes pontos correspondem à zona de ligação dos tirantes em aço à parede, sendo estes aplicados a nível do 1º piso e do 2º piso.

Na Figura 4.19 e na Figura 4.20 encontram-se apresentadas as tensões principais antes e após o reforço do edifício nº 31. Assim, antes do reforço observa-se igualmente uma concentração das tensões de tracção no topo das paredes, nos painéis superiores e laterais às aberturas e nos cantos, da ordem dos 69 Kpa.

Na Figura 4.19b), verifica-se que as tensões de compressão concentram-se na base do edifício, tal como se verificou no edifício anterior, contudo, com valores mais reduzidos uma vez que este é de menor porte e consequentemente a base suporta menor peso.

Após o reforço (Figura 4.20), relativamente à alvenaria de pedra verifica-se uma diminuição das tensões de tracção. No entanto, no topo das paredes verifica-se um aumento destas tensões, passando de aproximadamente 69 Kpa para sensivelmente 300 Kpa. Contudo, esse aumento não acarreta qualquer problema, uma vez que essa zona é constituída por cintas de betão armado, suportando este material valores mais elevados de tracção.

As tensões de compressão (Figura 4.20b)), aumentaram ao nível da base após o reforço, como era de esperar, dado o aumento da carga vertical na estrutura. Verifica-se também um grande aumento na zona da ampliação onde existe uma porta seguida de uma

janela, criando-se aí uma grande descontinuidade, gerando deste modo, uma acumulação de tensões no painel inferior a essas aberturas.

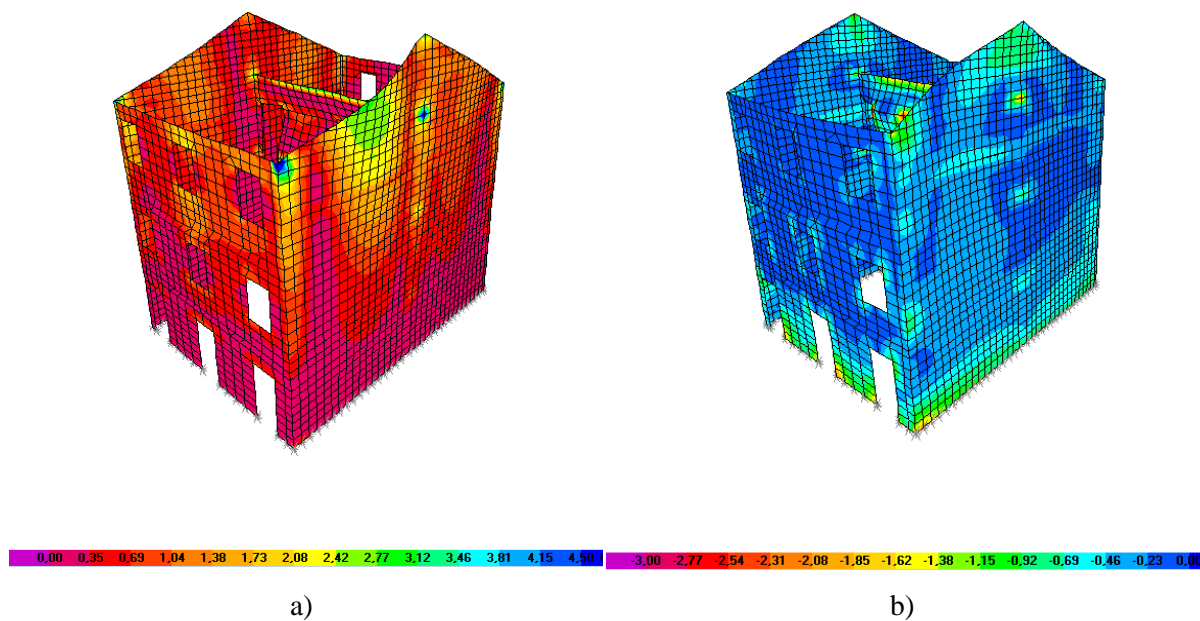


Figura 4. 17 Edifício nº 35 sem reforço, Tensões principais máximas: a) Tensão de tracção, b) Tensão de compressão.

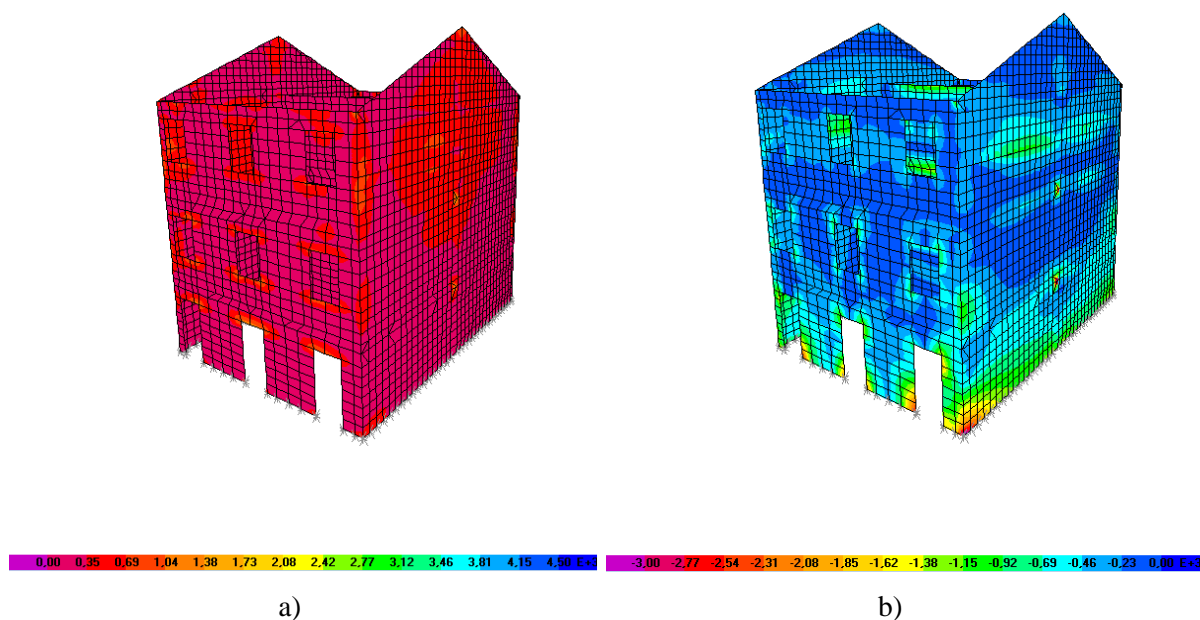


Figura 4. 18 Edifício nº 35 com reforço: Tensões principais máximas, a) Tensão de tracção, b) Tensão de compressão.

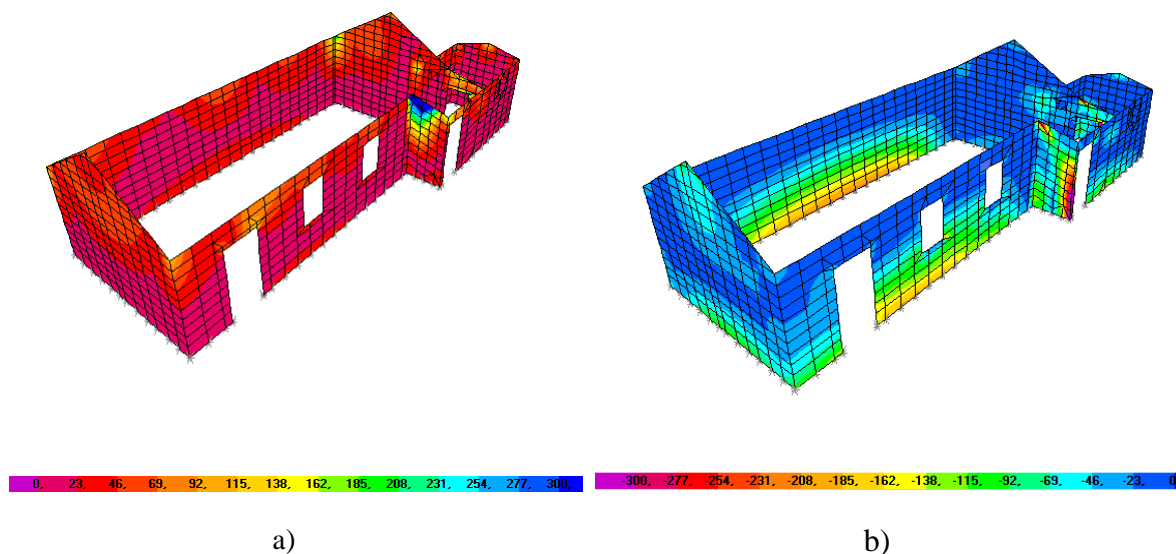


Figura 4. 19 Edifício nº 31 sem reforço, Tensões principais máximas: a) Tensão de tracção, b) Tensão de compressão.

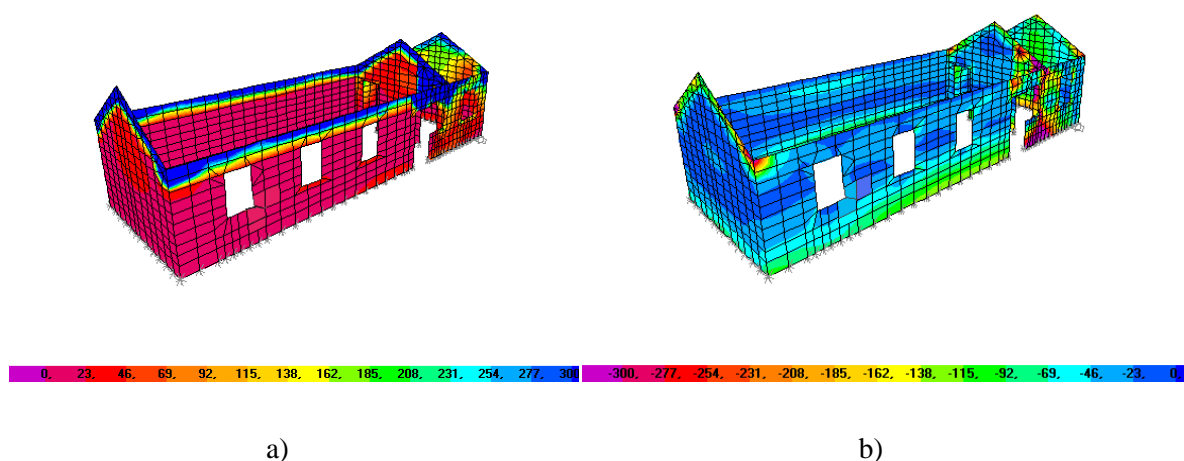


Figura 4. 20 Edifício nº 31 com reforço, Tensões principais máximas: a) Tensão de tracção, b) Tensão de compressão.

4.9 Análise de deslocamentos devido ao sismo

Quando uma estrutura de alvenaria de pedra é solicitada por um sismo, são originadas deformações a nível da mesma, sendo estas responsáveis pelos danos observados posteriormente. Da análise destes danos verifica-se que as deformações têm tendência a concentrar-se em zonas que apresentam uma maior fragilidade, tanto pela

geometria, como pela qualidade de execução, tais como: cunhais e nembos de parede esbeltos, [44].

Nesta secção serão apresentados perfis de deslocamento no tempo, de deslocamento lateral e deformações relativas máximas, de pontos correspondentes a zonas particularmente sensíveis e representativas da resposta dos edifícios em estudo, tentando assim compreender-se o seu funcionamento e o efeito do respectivo reforço.

4.9.1-Edifício nº 35

Como foi referido em pontos anteriores, o edifício nº 35 é constituído por três pisos. Deste modo, para efectuar a presente análise foram seleccionados ao nível dos vários pisos dois pontos representativos para o estudo, um de canto e outro a meio vão, (Figura 4.21).

Nos de canto verificaram-se os deslocamentos segundo xx e segundo yy , nos a meio vão os deslocamentos para fora do plano (segundo yy), (Figura 4.21).

Nas figuras seguintes (Figuras 4.22, 4.23 e 4.24), encontram-se apresentados os deslocamentos no tempo, devido à acção do sismo, dos pontos de canto e meio vão, ao nível dos três pisos.

Observando as várias figuras, pode verificar-se que o deslocamento máximo nos vários pontos antes e após o reforço, ocorreu sensivelmente entre os 4 s e os 6 s.

O reforço apresentou uma maior influência para os pontos a meio vão, (P2, P4, P6), verificando-se uma grande redução dos deslocamentos devido ao sismo, aquando a aplicação deste. Nos pontos de canto verifica-se que há um melhor funcionamento do reforço na direcção xx do que na direcção yy .

Na Figura 4.25 encontram-se apresentados os perfis de deslocamento lateral.

Analisando os vários perfis de deslocamento, verifica-se que, com o reforço houve uma grande diminuição dos deslocamentos laterais, principalmente a nível do meio vão, verificando-se uma redução bastante significativa de cerca de 84 %. Esta elevada redução é consequência do efeito do reboco armado, tarugamento dos pavimentos e da aplicação dos tirantes, controlando assim a deformação para fora do plano das paredes resultando um menor deslocamento lateral.

No que concerne ao cunhal, verifica-se que há uma maior redução na direcção xx do que na direcção yy , sendo nesta segunda direcção evidenciada uma maior redução para alturas superiores. Contudo, na direcção xx pode-se observar que o maior deslocamento

ocorre a nível do 1º piso, representando este deslocamento cerca de 37 % do deslocamento de topo, revelando assim, a importante vulnerabilidade desta zona do edifício à acção sísmica na direcção xx.

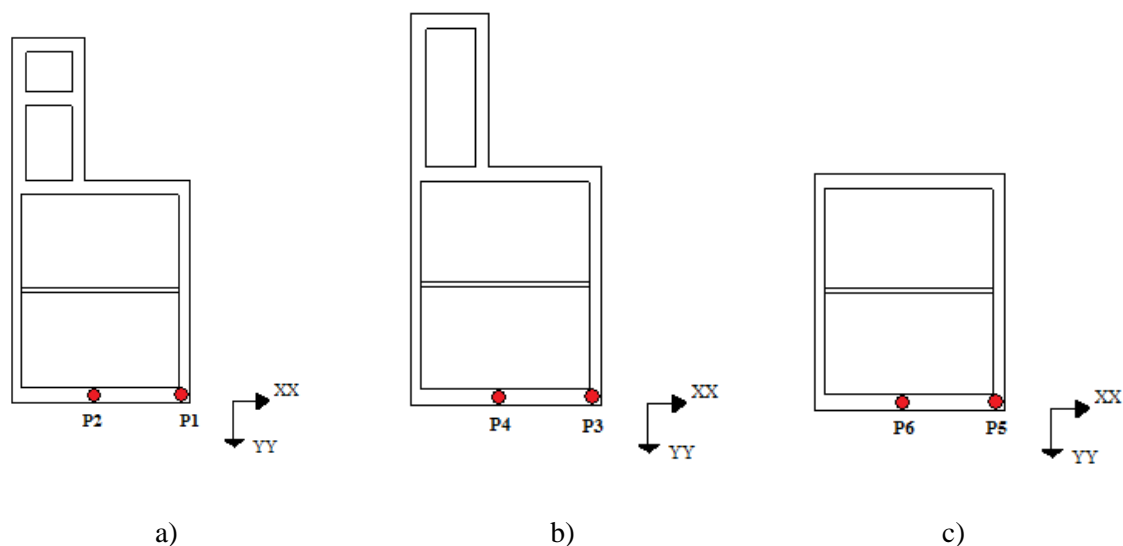


Figura 4. 21 Edifício nº 35, pontos seleccionados para estudo dos deslocamentos:
a) 1º Piso; b) 2º Piso; c) 3º Piso.

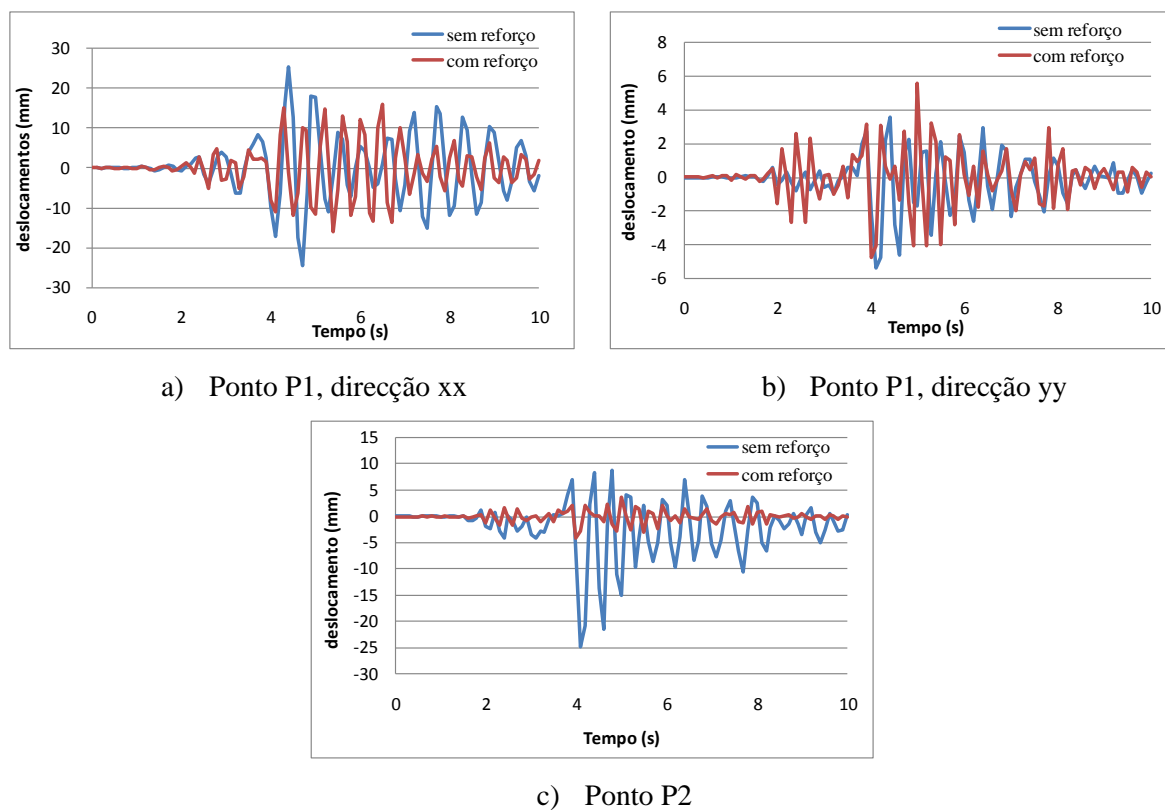
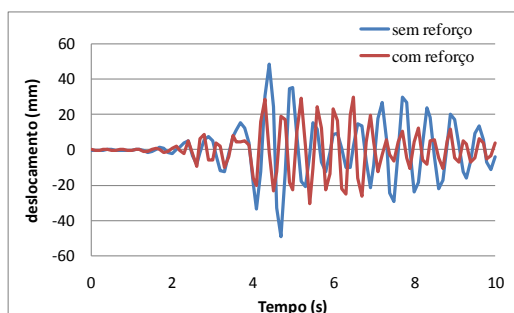
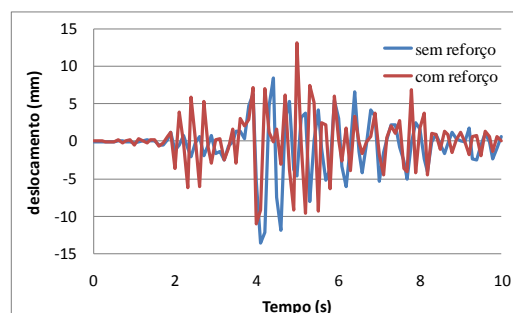


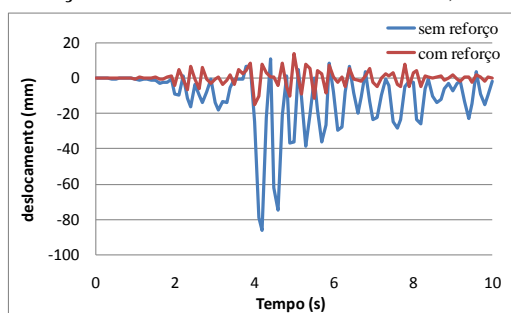
Figura 4. 22 Deslocamento no tempo a nível do 1º Piso.



a) Ponto P3, direcção xx

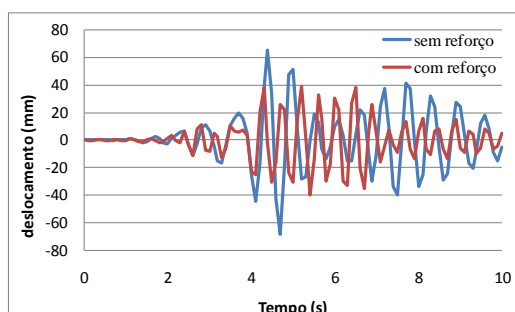


b) Ponto P3, direcção yy

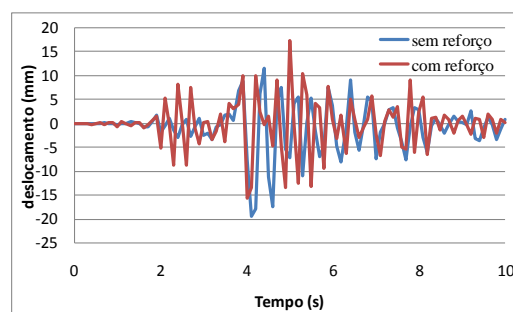


c) Ponto P4

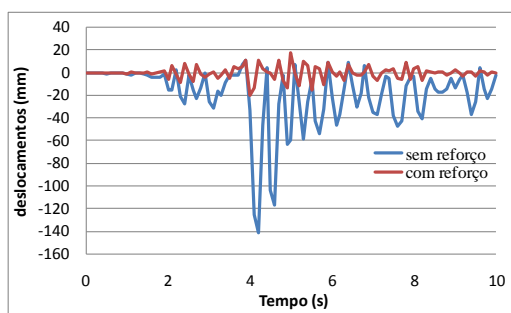
Figura 4. 23 Deslocamento no tempo a nível do 2º Piso.



a) Ponto P5, direcção xx

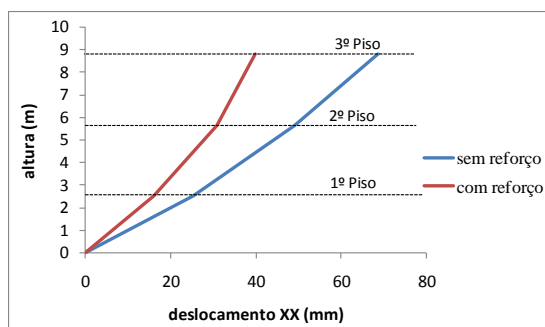


b) Ponto P5, direcção yy

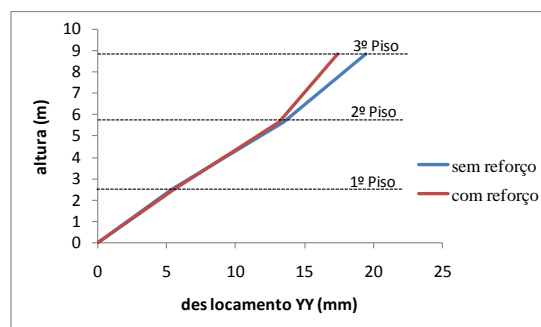


c) Ponto P6

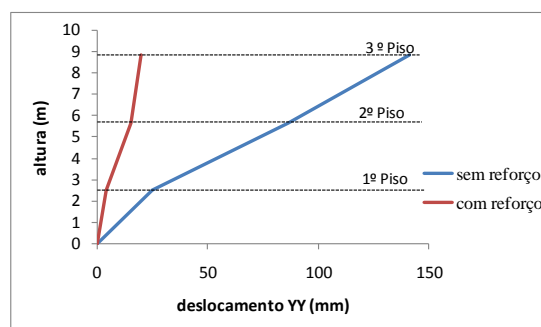
Figura 4. 24 Deslocamento no tempo a nível do 3º Piso.



a) Pontos de canto direcção xx



b) Pontos de canto direcção yy



c) Pontos meio vão direcção yy

Figura 4. 25 Perfis de deslocamento lateral.

Na Figura 4.26 encontra-se apresentada a envolvente das deformações relativas máximas, ou seja, estão apresentadas as deformações relativas máximas a nível de cada piso, de forma a verificar o efeito do respectivo reforço. É importante salientar que os “drifts” expostos não são reais, pois estes apresentam os máximos em cada piso, mas como o objectivo passava apenas por verificar a influência do reforço, optou-se por fazer a envolvente.

Analisando a Figura 4.26, verifica-se que a aplicação do reforço resultou numa redução significativa dos valores do “drift”, essencialmente nos cunhais na direcção xx e a meio vão. Assim, nos cunhais na direcção xx observa-se que o reforço diminui o “drift” cerca de 40% e a meio vão diminui aproximadamente 84 %, o que significa que a meio vão o reforço apresenta um bom funcionamento.

Sendo a análise desenvolvida, uma análise linear pretendeu-se confrontar os valores das deformações estimadas com o modelo numérico, com valores de referência indicados na FEMA 356, (Tabela 4.11). Efectuando-se a comparação entre os valores obtidos na Figura 4.26 e os da Tabela 4.11 pode verificar-se que nos pontos de canto na direcção xx, antes do reforço, o “drift” ao nível do 1º piso encontra-se acima dos 0,8 %, existindo desta

forma, o risco de colapso da estrutura. A aplicação do reforço diminuiu esse “drift”, encontrando-se após o reforço abaixo dos 0,8 %, deixando deste modo de existir o perigo de colapso. No entanto, o edifício continua a apresentar lacunas na sua segurança, uma vez que o “drift” se encontra acima dos 0,6 %. Assim, relativamente aos cunhais constata-se que o reforço aplicado não foi suficiente para garantir a estabilidade do edifício.

Na direcção yy, o cunhal apresenta apenas os primeiros sinais de fissuração, uma vez que o “drift” se encontra entre os 0,1 % e os 0,6 %.

A meio vão, antes do reforço o edifício apresentava “drifts” elevados, encontrando-se estes muito acima dos 0,8 %, apresentado o 2º piso um “drift” máximo próximo dos 2,2 %, significando que o edifício apresentava altos riscos de colapso. Porém, o reforço aplicado teve um bom funcionamento, diminuindo o respectivo “drift” para aproximadamente 0,4 %, ou seja, o edifício já apresenta assim, segurança ao sismo, expondo apenas os primeiros sinais de fissuração, visto que o “drift” se encontra entre os 0,1 % e os 0,6 %, (ver Figura 4.26).

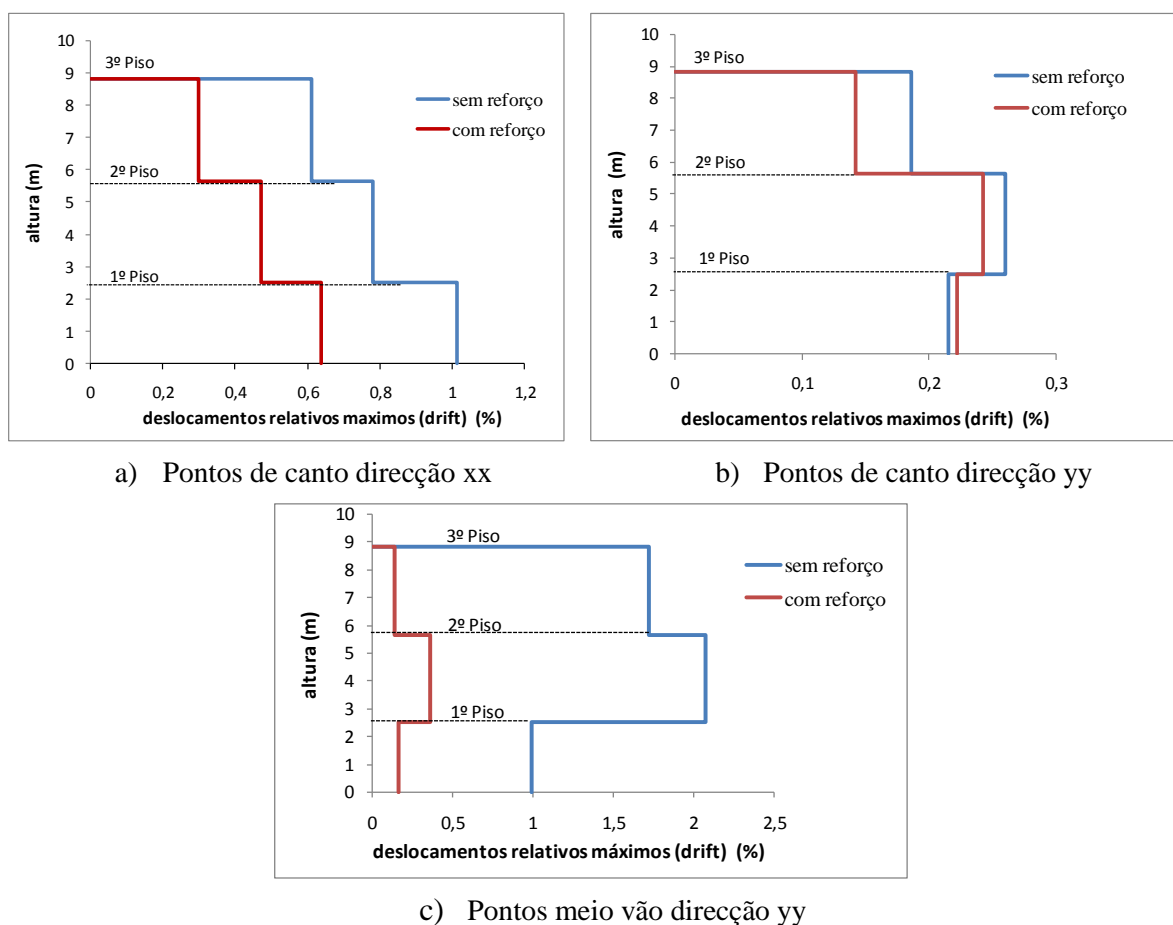


Figura 4. 26 Envolvente de deformações relativas máximas.

Tabela 4. 11 Valores limites de drift, segundo a FEMA-356, [45].

Immediate Occupancy	Life Safety	Collapse Prevention
0,1 %	0,6 %	0,8 %

4.9.2- Edifício nº 31

O edifício nº 31 trata-se de uma construção térrea e para análise dos respectivos deslocamentos foram seleccionados dois pontos ao nível da cobertura, sendo um de cunhal e outro de a meio vão, Figura 4.27. Para o ponto Q1 é estudado o deslocamento na direcção xx e na direcção yy, e para o ponto Q2 é estudado o deslocamento na direcção xx. Na Figura 4.28 encontram-se apresentados os respectivos deslocamentos no tempo.

Pela análise da figura, verifica-se que a construção antes do reforço já apresentava baixos deslocamentos, uma vez que o edifício é de pequeno porte. Após o reforço, a diminuição dos deslocamentos ocorreu mais significativamente ao nível do meio vão.

Tal como no edifício nº 35, os deslocamentos máximos ocorrem essencialmente entre os 4 s e os 6 s.

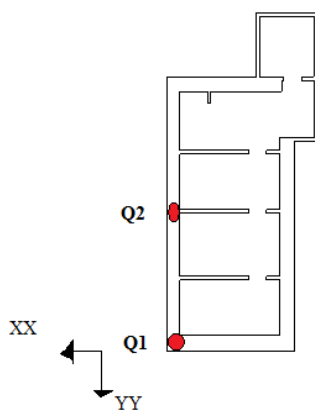


Figura 4. 27 Edifício nº 31, pontos seleccionados para estudo dos deslocamentos.

Seguidamente, são expostos os perfis de deslocamento dos correspondentes pontos, Figura 4.29. Pela sua análise, verifica-se que no cunhal (ponto Q1) segundo a direcção yy o reforço não funcionou como era desejado, verificando-se um aumento do deslocamento lateral após o reforço.

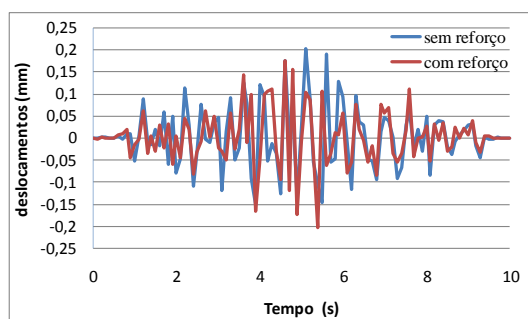
No ponto Q2, verifica-se um bom funcionamento do reforço aplicado, diminuindo o deslocamento deste ponto para fora do plano, cerca de 45 %. Recorde-se que o reforço passou por uma aplicação de reboco armado, pela aplicação de cintas em betão armado em

toda a periferia do edifício e um reforço das ligações da cobertura à cinta, provocando assim, um travamento da parede e consequentemente diminuindo o seu deslocamento para fora do plano.

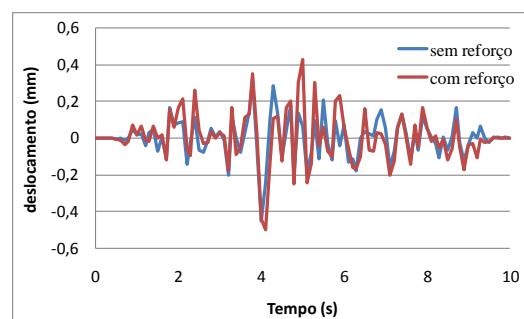
Na Figura 4.30 encontram-se apresentadas as deformações relativas máximas do ponto Q1 na direcção xx e na direcção yy e do ponto Q2 na direcção xx.

Pela análise dos “drifts” verifica-se que o reforço apresentou um bom funcionamento apenas a meio vão da parede, diminuindo o “drift” após o reforço cerca de 45%. No caso do cunhal, o tipo de reforço aplicado não foi o melhor ou o suficiente para melhorar o comportamento desta zona da construção à acção do sismo.

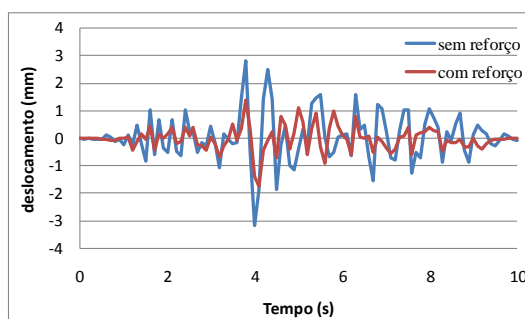
Efectuando uma comparação entre os valores do “drift” apresentados na Figura 4.30 e os valores da Tabela 4.11 pode verificar-se que o edifício tanto antes do reforço como após o reforço apresenta um bom comportamento, apresentando no ponto Q1 “drifts” abaixo dos 0,1%. Contudo, a meio vão antes do reforço, existiam princípios de fissuração, uma vez que o “drift” se encontrava acima dos 0,1%. Com o reforço, este deslocamento foi corrigido, passando para valores abaixo dos 0,1%, não apresentado deste modo qualquer tipo de dano.



a) Ponto Q1, direcção xx

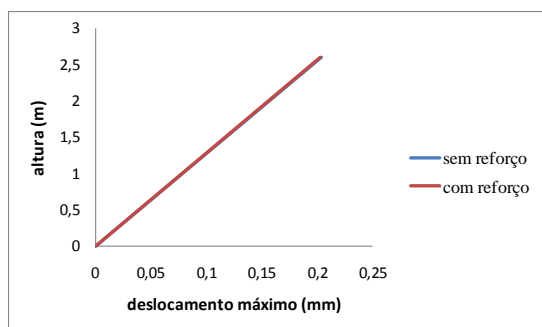


b) Ponto Q1, direcção yy

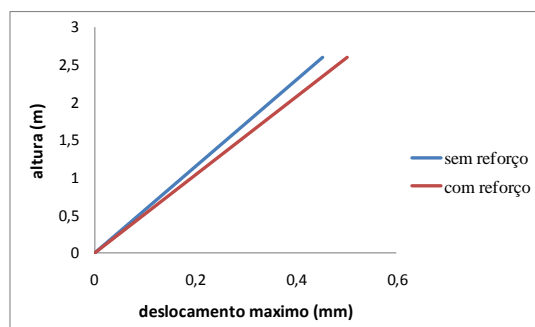


c) Ponto Q2, direcção xx

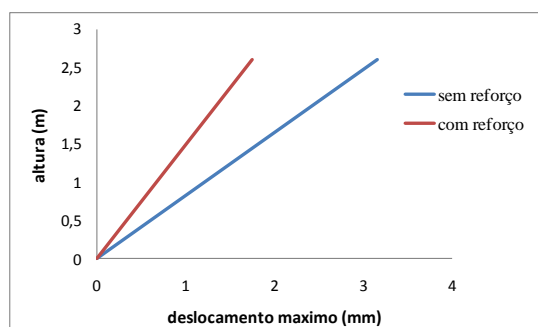
Figura 4. 28 Edifício nº 31, deslocamentos no tempo.



a) Ponto Q1 direcção xx

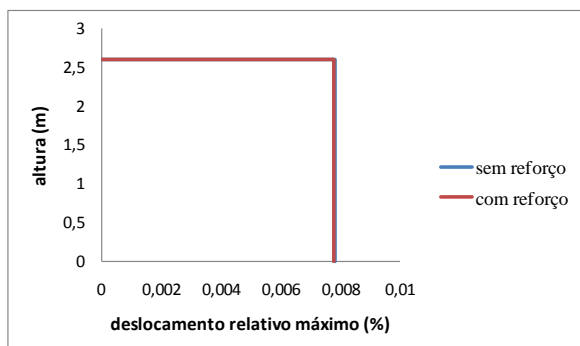


b) Ponto Q1 direcção yy

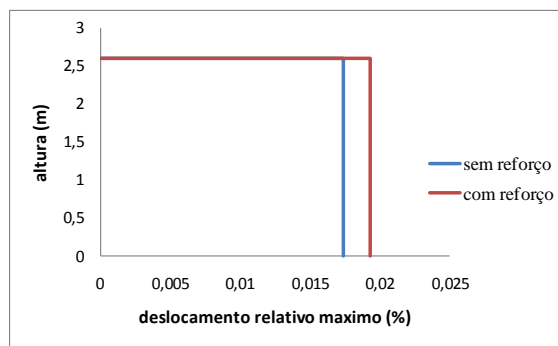


c) Ponto Q2 direcção xx

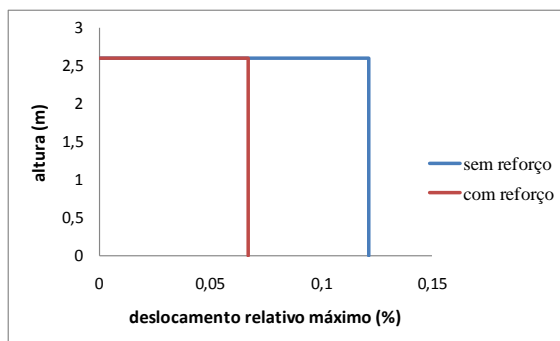
Figura 4. 29 Edifício nº 31, deslocamento lateral.



a) Ponto Q1 direcção xx



b) Ponto Q1 direcção yy



c) Ponto Q2 direcção xx

Figura 4. 30 Deformações relativas máximas.

4.10 Comparação dos resultados

A actuação de um sismo corresponde à passagem de ondas de vibração pelos solos, sendo esta vibração transmitida às estruturas a partir do movimento forçado das suas fundações, [42].

Assim, neste capítulo foram estudados dois edifícios de alturas diferentes e consequentemente de diferente rigidez, apresentando um distinto comportamento quando solicitados por um sismo.

Deste modo, da análise modal verificou-se que o edifício nº 35 apresentava frequências bastante inferiores ao edifício nº 31. Isto era esperado, uma vez que o edifício nº 35 era constituído por três pisos, e o edifício nº 31 é um edifício térreo, sendo o primeiro mais alto e consequentemente mais flexível, dado o sistema construtivo ser semelhante nos dois.

Após o reforço verificou-se um aumento da rigidez em ambos os edifícios. Desta forma, ao que era o primeiro modo de vibração (modo fundamental) antes do reforço, é associada uma diminuição do movimento da parede da fachada para fora do seu plano na casa nº 35 e uma diminuição do movimento da parede traseira no caso da casa nº 31. Com o reforço, no edifício nº 31 verificou-se que a respectiva correcção foi mais significativa do que no edifício nº 35. Assim, o reforço do primeiro foi mais eficiente, uma vez que a parede da fachada do edifício nº 31 apresenta um maior desenvolvimento, sendo esta mais vulnerável à acção sísmica.

Nos dois edifícios foi possível verificar a influência do reboco armado na sua rigidez, percebendo-se que esta técnica apresenta um determinado significado no comportamento dos edifícios quando solicitados por um sismo.

Pela análise das tensões principais, verificou-se que o edifício nº 35 apresenta tensões superiores ao edifício nº 31, estando também esta diferença relacionada com a altura, uma vez que as tensões de compressão são resultado do peso dos vários componentes do edifício.

Da análise efectuada ao nível dos deslocamentos, verificou-se também nestes, que o edifício nº 35 apresentava valores superiores ao edifício nº 31, sendo os deslocamentos neste último, bastante inferiores, não expondo danos significativos, uma vez que só em alguns casos antes do reforço é que apresentava indícios de fissuração. Após o reforço no

edifício nº 35 verificou-se uma redução destes deslocamentos tanto ao nível do cunhal, como ao nível do meio vão, melhorando assim, o seu comportamento. Por sua vez, o edifício nº 31 após o reforço só apresentou uma diminuição dos deslocamentos a nível do meio vão, não sendo melhorado o comportamento do edifício a nível do cunhal. Porém, da análise do “drift” correspondente observou-se que não havia qualquer consequência, uma vez que não eram apresentados quaisquer indícios de danos.

CAPITULO 5: CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

5.1 Conclusões gerais

Após a realização deste trabalho e do estudo efectuado, torna-se essencial salientar os aspectos mais importantes e tirar as respectivas conclusões.

O arquipélago dos Açores enfrenta regularmente abalos, momentos de pânico e perdas patrimoniais e humanas, como consequência da intensa actividade sísmica que apresenta, resultado do seu enquadramento geotécnico e da sua actividade vulcânica.

Assistindo-se a uma constante destruição do parque edificado, existe uma necessidade assídua de obras de reabilitação nos edifícios, nomeadamente de índole estrutural. Assim, é importante que haja um conveniente reforço destes, para que quando solicitados por outro sismo o seu comportamento seja positivo e os momentos de destruição sejam minimizados.

Neste contexto, o trabalho abordou várias técnicas de reforço usadas na reabilitação do parque habitacional da ilha do Faial, face ao sismo de 9 de Julho de 1998, tentando compreender-se quais as soluções mais adequadas, para que no futuro haja uma aplicação ajustada dos respectivos reforços em edifícios que possam ser afectados.

O estudo debruçou-se na análise de uma amostra de 55 habitações da ilha do Faial, onde se procurou verificar qual o tipo de construção mais frequente e qual o dano mais observado, de modo a compreender quais as técnicas de reforço que melhor se ajustam a estes. Assim, a observação a partir da amostra permitiu concluir que o sistema construtivo mais utilizado foi a construção mista do tipo 2, sendo a fissuração acentuada em fachadas e empenas (D2EF), o dano mais encontrado nas construções. Desta forma, constatou-se que a maioria das construções foi sujeita a uma reabilitação, como tipo de intervenção após o sismo.

A reabilitação efectuada tinha em vista o reforço das estruturas, de modo a apresentarem um melhor comportamento quando solicitadas por um novo sismo. Assim,

vários gabinetes propuseram diversas soluções que visavam uma melhoria desse comportamento, sendo no presente trabalho estudado o efeito das mesmas.

Analisando as soluções apresentadas pelos vários gabinetes, é notório que a execução de cintas na periferia dos edifícios é uma solução muito utilizada. É possível verificar, através da consulta dos diversos projectos de reabilitação que compõem a amostra deste trabalho, que todos os gabinetes em estudo utilizaram esta solução, apesar de nem sempre esta apresentar um bom comportamento. De forma semelhante, a execução de reboco armado e a aplicação de tirantes foram, igualmente, soluções muito escolhidas pelos vários gabinetes. No entanto, registou-se uma falta de preocupação por parte dos diferentes gabinetes com o reforço de cunhais, o que na prática se traduz num descuido, atendendo que estes são zonas bastante vulneráveis ao sismo, necessitando de devida atenção. O mesmo aconteceu com as fundações, poucos foram os gabinetes que se preocuparam com a verificação e reforço destas, embora seja um método de intervenção fundamental, atendendo a que grande parte dos edifícios apresenta fundações deficientes. O aparecimento de grandes fissuras nas empenas e por vezes a queda do edifício ou de partes deste são as consequências mais óbvias e objectivas desta falha.

A nível de custos, pela análise dos diversos orçamentos apresentados pelos vários gabinetes também foi possível constatar que muitas vezes um menor custo era resultado de soluções incompletas, levando a que não se fizesse a devida ligação entre alguns dos elementos.

No seguimento deste estudo, procedeu-se a uma análise do desempenho dinâmico das estruturas quando solicitadas ao sismo. Assim, desenvolveram-se modelos numéricos para duas casas, uma urbana e outra rural, às quais se aplicou a acção do sismo, ocorrido a 9 de Julho de 1998.

Os resultados obtidos através da análise modal, permitiram averiguar que existe uma má ligação entre os vários elementos deste tipo de construções, observando-se que quando solicitadas pelo sismo, as paredes resistentes destas funcionam individualmente.

No entanto, com os vários reforços aplicados, este problema foi superado. Analisando os dois casos, verifica-se que os diversos elementos que compõem as diferentes construções analisadas passaram a funcionar em conjunto, ou seja, as paredes deixaram de funcionar isoladamente passando a funcionar em conjunto, havendo também um aumento significativo da rigidez do edifício.

Pela análise das tensões principais foi possível constatar que as tensões de tracção concentram-se no topo das paredes, nos cunhais e nos painéis laterais às aberturas, enquanto as tensões de compressão acentuam-se essencialmente na base do edifício. Porém, com a aplicação do reforço as tensões de tracção diminuíram, em resultado da redistribuição de esforços proporcionada pelas ligações entre os diversos elementos estruturais.

Contrariamente, as tensões de compressão aumentaram ligeiramente com o reforço, o que é compreensível, tendo em vista o aumento do peso próprio do edifício.

Também, o estudo dos deslocamentos torna-se igualmente imprescindível para a correcta compreensão sobre o comportamento dinâmico deste tipo de estruturas. Daí que se analisasse os vários deslocamentos no tempo antes e após o reforço, os deslocamentos laterais e os “drifts”.

A partir da análise dos vários deslocamentos, confirmaram-se duas certezas, a saber: em primeiro lugar os deslocamentos são mais elevados quanto mais alto for o edifício; por outro lado, os valores mais elevados manifestam-se em pontos a meio vão da parede.

Contudo, com a aplicação do reforço, os vários deslocamentos foram corrigidos, evidenciando-se um melhor funcionamento do reforço em pontos a meio vão, diminuindo significativamente o seu valor.

Já quanto aos vários “drifts”, foi possível averiguar que o edifício mais alto apresentava um “drift” maior, o que revelava consequentemente, danos mais significativos. Mesmo assim, assinala-se que os danos foram minimizados após a aplicação do reforço, uma vez que os edifícios passaram a apresentar “drifts” com valores mais baixos. Novamente, foi possível observar que o reforço apresentou melhor funcionamento a nível do meio vão do que a nível dos cunhais.

As técnicas de reforço utilizadas mostraram assim, ser eficientes, melhorando o comportamento dos respectivos edifícios ao efeito do sismo. Contudo, seria de esperar, no caso do edifício nº 35 e no caso da casa nº 31, que as paredes interiores também deveriam ser objecto de reforço para travar melhor as paredes exteriores e efectivar convenientemente as ligações entre ambas.

Neste tipo de edifícios, as paredes exteriores são as principais responsáveis pelo suporte do mesmo, sendo o apoio da maioria dos elementos. Desta forma, o seu reforço

possibilita um desempenho mais eficaz e uma melhor resposta ao sismo. A aplicação do reboco armado nas faces destas paredes foi uma das técnicas mais utilizadas pelos gabinetes para reforço das mesmas. Assim, procedeu-se ao estudo do seu efeito, individualmente e sem qualquer outros reforços, de modo a apurar a influência deste reforço no comportamento das construções.

Como era previsível, constatou-se que este apresentava uma grande influência na rigidez dos edifícios e consequentemente no comportamento das paredes e do edifício em geral, sendo um reforço importante na reabilitação de construções sujeitas à acção dos sismos.

Finalmente e de um modo geral, pode-se concluir que o comportamento das construções à acção de um sismo tem por base vários aspectos relacionados com o edifício em si, tais como: a sua forma construtiva, os materiais utilizados e em casos que haja uma reabilitação, o tipo de reforço aplicado. Em sequência destas variáveis, foi evidente que grande parte dos edifícios apresentam deficiências logo na sua construção, reflectindo-se no seu comportamento quando solicitados por um sismo. Porém, mesmo sabendo da existência destas falhas, falta muitas vezes uma preocupação por parte de muitos responsáveis em desenvolver acções que visem o reforço de determinadas zonas da construção consideradas mais vulneráveis à acção sísmica.

5.2 Desenvolvimentos Futuros

O âmbito deste trabalho consistiu na análise das soluções de reforço utilizadas na reabilitação da ilha do Faial, devido ao sismo de 9 de Julho de 1998. Assim, durante o estudo foram observados aspectos que poderão ser desenvolvidos e estudados em trabalhos futuros.

Durante o presente trabalho observou-se que os pavimentos são elementos que apresentam uma determinada fragilidade devido à sua baixa rigidez. Desta forma, poderá ser feito um estudo mais rigoroso do seu comportamento, assim como proceder-se ao desenvolvimento de uma análise aprofundada do funcionamento das ligações destes às paredes de alvenaria, e da respectiva transmissão de esforços envolvida. Há que realçar que esta análise deve ser acompanhada de modelos numéricos.

A parede interior foi também um elemento que apresentou deficiências no seu comportamento, devido à sua baixa rigidez e à presença de descontinuidades, não sendo o reforço do edifício em geral suficiente para garantir um comportamento eficiente. Assim, num próximo trabalho poderá ser estudado e desenvolvido um reforço para este elemento, para que apresente um melhor comportamento quando solicitado por um sismo.

Neste trabalho não foi aprofundado o estudo do funcionamento dos cunhais das construções quando solicitados ao sismo. Uma vez que, na análise efectuada se verificaram falhas a este nível, poderá ser efectuada um estudo rigoroso do funcionamento destes, tendo por base o método dos elementos finitos, e serem estudadas várias soluções de reforço para estes elementos, uma vez que desempenham um papel importante no funcionamento de um edifício e nem sempre oferecem o devido comportamento.

Tendo por base o funcionamento das construções de alvenaria de pedra, poderão ser desenvolvidos estudos de novas técnicas de reforço mais económicas e eficazes, que possam assim ser atractivas para este tipo de construção.

Num estudo futuro, poderá ainda ser desenvolvida uma análise comparativa entre os reforços estruturais aplicados na reconstrução da ilha do Faial e os aplicados em outras zonas sísmicas com uma tipologia construtiva semelhante à presente no arquipélago dos Açores, permitindo verificar o que se fez de melhor e pior, e obter novos tipos de abordagens para a resolução dos problemas associados à actividade sísmica.

O trabalho realizado poderá assim servir de base a futuros estudos de edifícios semelhantes em outras zonas sísmicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Fonseca, J.D. (2008). Os sismos. Lopes, M. (2008). Sismos e Edifícios. (1ª edição), Lisboa, edições Orion.
- [2] Costa, R.M. (2008). Uma Breve Perspectiva da História da Ilha do Faial. Oliveira, C.S., Costa, A., Nunes, J.C. (2008). Sismo 1998-Açores: Uma Década Depois. (1ªedição), Governo dos Açores.
- [3] Costa, A.; Oliveira, C. S.; Neves, F. (2008). Caracterização do Parque Habitacional das Ilhas do Faial e Pico: Elementos de Estudo sobre o Comportamento relativo à Crise Sísmica de 9 de Julho de 1998 nos Açores. Oliveira, C.S.; Costa, A.; Nunes, J.C. (2008). Sismo 1998-Açores: Uma Década Depois. (1ªedição), Governo dos Açores.
- [4] Delgado, R.; Lopes; M.(2008). Breve referência à história da engenharia sísmica. Lopes, M. (2008). Sismos e Edifícios. (1ª edição), Lisboa, edições Orion.
- [5] Neves, N.M. (2004). Identificação dinâmica e análise do comportamento sísmico de um quarteirão localizado na cidade da Horta - Ilha do Faial. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia do Porto.
- [6] Ferreira, A.B. (2005). Geodinâmica e Perigosidade Natural nas Ilhas dos Açores. Universidade de Lisboa, Finisterra, Lisboa. pp: 103-120.
- [7] Oliveira, C. S.; Lucas, A.R.; Correia Guedes, J.H. (1992). 10 Anos Após o Sismo dos Açores de 1 de Janeiro de 1980. Volume 1 e Volume 2, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

- [8] Oliveira Quartau, R.M. (2007). The insular shelf of Faial: Morphological and sedimentary evolution. Tese de Doutoramento apresentada à Universidade de Aveiro, Departamento de Geociências, Aveiro.
- [9] Madeira, J. (1998). Estudos de Neotectónica nas Ilhas do Faial, Pico e S. Jorge: uma Contribuição para o Conhecimento Geodinâmico da Junção Tripla dos Açores. Tese de Doutoramento, Universidade de Lisboa, Lisboa, p. 428.
- [10] Madeira, J.; Silveira, A. B. (2003). Active Tectonics and First Paleoseismological Results *in* Faial, Pico and S. Jorge Islands (Azores, Portugal). Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa.
- [11] Carvalho, E.C.; Oliveira, C. S. (1997). Construção Anti-Sísmica: Edifícios de Pequeno Porte. (4ª edição), Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- [12] Nunes, J. (2008). Caracterização Sumária da Sismicidade da Região dos Açores. Oliveira, C.S.; Costa, A.; Nunes, J.C. (2008). Sismo 1998-Açores: Uma Década Depois. (1ª edição), Governo dos Açores.
- [13] Serra, J. B.; Antão, A.; Brito, A.C. (2005/2006). Caracterização das ocorrências e dos Movimentos Sísmicos em Sismologia. Texto de apoio para a disciplina de Engenharia Sísmica, capítulo 3; 4º ano de Engenharia Civil, Universidade Nova de Lisboa: Departamento de Engenharia civil, Lisboa.
www.dec.fct.unl.pt/seccoes/S_Geotecnia/Engenharia_Sismica
- [14] Nunes, J.; Forjaz, V.H.; Oliveira, C. (2007). Catálogo Sísmico da Região dos Açores. Sísmica 2004- 6º Congresso Nacional de sismologia e Engenharia Sísmica.
- [15] Lopes, M. (2008). Conceção de Estruturas. Lopes, M. (2008). Sismos e Edifícios. (1ª edição), Lisboa, edições Orion.
- [16] Campos Pombo, F.J. (2007). Comportamento Sísmico de Edifícios de Pequeno Porte. Instituto Superior Técnico, Dissertação para Grau de Mestrado, Lisboa.

- [17] Oliveira, C.S.; Sousa, M.L.; Guedes, J.H.C.; Martins, A.; Costa A.C. (1998). A crise sísmica do Faial/Pico/São Jorge iniciada com o sismo de 9 de Julho de 1998 vista na rede acelerográfica dos Açores. Proceedings 1º Simpósio de Meteorologia e Geofísica da APMG, Lagos.
- [18] Costa Nunes, J.; Teves Costa, P.; Senos, M.L. (1999). Estudo de sismicidade no arquipélago dos Açores - Aplicação ao sismo de 9 de Julho de 1998. Proceedings Sísmica 99-4º Encontro Nacional sobre Sismologia e Engenharia Sísmica, 19-28, Faro.
- [19] Sousa, M.L.; Rodrigues, J.; Coelho, E.; Carvalho, E.; Salta, M.; Viegas, J. (2008). A Intervenção do LNEC Na Sequência da Crise Sísmica dos Açores iniciada pelo Sismo de 9 de Julho de 1998. Oliveira, C. S., Costa, A., Nunes, J.C. (2008). Sismo 1998-Açores: Uma Década Depois. (1ªedição), Governo dos Açores.
- [20] Ferreira, M A.; Mota de Sá, F.; Oliveira, C.S.; Nunes, J.S.; Neves, F.; Costa, A. (2007). Comparação de Danos Ocorridos nas Freguesias Mais Danificadas Pelo Sismo de 9 de Julho de 1998 com Modelos Analíticos de Simulação. SISMICA 2007, 7º Congresso de Sismologia e Engenharia Sísmica.
- [21] Proença, J.M.; Ferreira, M. (2008). Danos em Instalações Escolares da Ilha do Faial. Uma análise Retrospectiva e Prospectiva. *in*, Oliveira, C.S.; Costa, A.; Nunes, J.C. (2008). Sismo 1998-Açores: Uma Década Depois. (1ªedição), Governo dos Açores.
- [22] Azevedo, J.; Bento, R.; Guerreiro, L.; Lopes, M.; Proença, J. (1998). Missão do IST ao Faial e Pico na sequência do sismo de 9 de Julho de 1998- Inspecção de Escolas e Igrejas, Relatório ICIST, Lisboa.
- [23] Azevedo, J.; Guerreiro, L. (2008). Danos Verificados nas Igrejas: Uma Primeira Avaliação. Oliveira, C.S.; Costa, A., Nunes, J.C. (2008). Sismo 1998-Açores: Uma Década Depois. (1ªedição), Governo dos Açores.

- [24] Guerreiro, L.; Azevedo, J.; Proença, J.; Bento, R.; Lopes, M. (1999). Danos Verificados em Igrejas Durante o Sismo dos Açores de 1998. 4º Encontro Nacional Sobre Sismologia e Engenharia Sísmica, Faro.
- [25] Costa, A.; Arêde, A.; Costa, A. (2008). Técnicas de Reforço Sísmico. Oliveira, C.S.; Costa, A.; Nunes, J.C. (2008). Sismo 1998-Açores: Uma Década Depois. (1ª edição), Governo dos Açores.
- [26] Carvalho, E.C.; Oliveira, C.S.; Fragoso, M.R.; Miranda, V. (1998). Regras Gerais de Reabilitação e Reconstrução de Edifícios Correntes Afectados pela Crise Sísmica do Faial, Pico e S. Jorge Iniciada pelo Sismo de 9 Julho de 1998. Horta e Laboratório Regional de Engenharia Civil.
- [27] Arêde, A.; Costa, A.; Costa, A.A.; Oliveira, C.; Neves, F. (2008). Experimental In-Situ Testing of Typical Masonry Constructions of Faial Island- Azores. The 14^a World Conference on Earthquake Engineering, China.
- [28] Costa, A. (2008). Reparação e Reforço das Construções. Lopes, M. (2008). Sismos e Edifícios. (1ª edição), Lisboa, edições Orion.
- [29] Roque, J. (2002). Reabilitação Estrutural de Paredes Antigas de Alvenaria. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho.
- [30] Barros, R.S.; Martins, J.G. (2006). Reforço Sísmico de Estruturas de Alvenaria com Elementos Metálicos. (1ª edição), Lisboa.
- [31] Arêde, A.; Costa, A.; Guedes, J.; Paupério, E., Reforço de Estruturas de Alvenaria de Pedra Contribuições do NCREP- FEUP. 2^{as} Jornadas de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, Avaliação e Reabilitação das Construções Existentes.

- [32] Costa, A. (2002). Determination of Mechanical Proprieties of Traditional Masonry Wall in Dwellings of Faial, Azores. *Earthquake Engineering & Strutural Dynamics*. ISBN 0098-8847, 31, 7, 1361-1382.
- [33] Neves, F.; Costa, A.; Oliveira, C.S. (2008). Vulnerabilidade sísmica do parque habitacional das ilhas do Faial e Pico. Oliveira, C.S.; Costa, A.; Nunes, J.C. (2008). *Sismo 1998-Açores: Uma Década Depois*. (1ª edição), Governo dos Açores.
- [34] Costa, A.; Oliveira, C.S.; Neves, F. (2008). Técnicas de reforço estrutural mais frequentes na reconstrução da ilha do Faial. Oliveira, C.S.; Costa, A.; Nunes, J.C. (2008). *Sismo 1998-Açores: Uma Década Depois*. (1ª edição), Governo dos Açores.
- [35] Oliveira, C.S.; Costa, A.; Neves, F. (2008). Análise de alguns dados de reconstrução na ilha do Faial e Pico relativo à crise sísmica de 9 de Julho de 1998 nos Açores. *Sismo 1998- Açores. Uma década depois*. Edições C.S. Oliveira *et al.* Governo dos Açores.
- [36] Gouveia, J.P.; Lourenço, P.B.; Vasconcelos, G. (2007). Soluções construtivas em alvenaria. Congresso Construção 2007- 3º Congresso Nacional, Universidade de Coimbra, Coimbra.
- [37] Projectos apresentados pelos vários gabinetes contratados pelo CPR para a reabilitação da ilha do Faial, 1998.
- [38] Dia, N.P.; Matias, L. (2008). Estudos específicos com redes sísmicas para caracterização sísmica de pormenor. *Sismo 1998 - Açores: Uma Década Depois*. (1ª edição), Governo dos Açores.
- [39] Senos, M.L.; Alves, P.M.; Cruz, J.; Silva, M.; Carrilho, F. (2008). O sismo de 9 de Julho de 1998 nos Açores e a crise sísmica associada - dez anos depois. *Sismo 1998 - Açores: Uma Década Depois*. (1ª edição), Governo dos Açores.

- [40] Neves, N.; Arêde, A.; Costa, A. (2008). Análise sísmica de um quarteirão. Sismo 1998-Açores: Uma década Depois. (1ª edição), Governo dos Açores.
- [41] Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes (RSA), Decreto-Lei nº235/83.
- [42] Bento, R. (2008). Análise sísmica de estruturas. Sismos e Edifícios. (1ª edição), Lisboa, edições Orion.
- [43] Reis, A.C.; Farinha, M.B.; Farinha, J.P. (2003). Tabelas Técnicas. (16ª edição), Lisboa, Edições Técnicas.
- [44] Vicente, R, (2008). Estratégias e metodologias para intervenção de reabilitação urbana. Dissertação de Doutoramento apresentada à Universidade de Aveiro.
- [45] Vicente, R; Rodrigues, H; Varum, H. (2006). Seismic Performance and Strengthening of Traditional Masonry Buildings in the City Center of Coimbra. III European Conference on Computational Mechanics Solids, Structures and Coupled Problems in Engineering C. A Mota Soares et al. Lisbon, Portugal.

Internet:

- [I] www.eccn.edu.pt/alunos/sara_joana/historia.htm 4/11/008;14:07h.
- [II] www.fundacaofaialense.org 2/11/008;15:47h.
- [III] www.malhatlantica.pt/cnaturais/sismos.htm 5/11/008;16:33